



Paul Gomes Amado

Licenciado em Ciências da Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Sistema de Gestão de Energia Renovável para Autoconsumo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor João Almeida das Rosas,
Professor auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Tiago Oliveira Machado de Figueiredo Cardoso

Arguente: Prof. Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira

Vogal: Prof. Doutor João Almeida das Rosas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2015

Sistema de Gestão de Energia Renovável para Autoconsumo

Copyright © Paul Gomes Amado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

A procura crescente de energia ao longo do tempo, e também o seu custo, tem estimulado a procura de novas formas de geração ou aproveitamento energético, donde se pode destacar a geração de energia eléctrica para autoconsumo. À semelhança de já muitos países aderentes aos sistemas de autoconsumo, Portugal também já tem legislação que permite a utilização deste tipo de sistemas através de Unidades de Produção para Autoconsumo (UPAC). Este tipo de sistemas trazem consigo vantagens tanto para o produtor, que produz a sua própria energia e assim poderá ter algum retorno financeiro, como também para a rede eléctrica nacional (RESP) que, mercê da disponibilidade de mais fontes de energia, tem a possibilidade de ficar menos sobrecarregada em períodos de ponta.

Com o intuito de aproveitar ao máximo a energia produzida para autoconsumo e evitar estar a utilizar energia da rede em períodos em que a energia produzida não consegue dar resposta à procura, este trabalho propõe-se a otimizar os níveis de autoconsumo destes sistemas, que no geral apresentam valores entre os 20% e 40% anuais no sector residencial.

Deste modo, e de acordo com o que é definido por Demand-Side Management (DSM) será desenvolvido neste trabalho de dissertação um projecto deste tipo, que consiste na monitorização e gestão da energia produzida numa habitação ou indústria. O desenvolvimento deste projecto assenta na criação de um sistema de autoconsumo, constituído por um painel fotovoltaico, sensores, actuadores e uma carga, assim como *hardware* que permitirá monitorizar, de forma remota, as condições de funcionamento do sistema e fazer a gestão de energia do mesmo, de forma remota, recorrendo para isso às tecnologias de Informação e Comunicação. As aplicações de *software* responsáveis por essa gestão serão desenvolvidas com recurso à linguagem JAVA e *Arduino Programming Language*. Será utilizado um módulo Wi-Fi que permitirá a troca de dados entre Cliente (Arduino UNO com Microchip RN-171-XV) e Servidor (Aplicação em JAVA presente num computador). No final serão analisados os levantamentos de energia produzida e avaliado se o controlo de cargas é feito consoante as melhores condições de aproveitamento da energia produzida.

Palavras-chave: Autoconsumo, Painel Fotovoltaico, DSM, Optimização, Arduino, Redes Wi-Fi.

Abstract

Due to a growing demand of energy as time passes and also due to the growing cost of energy, has been promoting the search for new ways of making a better use of energy and of its generation, which leads us to self-consumption. Just like many other countries that are already using self-consumption systems, Portugal has now got laws that make possible having this kind of system using unities of production for self-consumption. These kinds of systems bring with them benefits, not only for the producer, who produces his own power to consume thus getting some financial return, but also to the national electric grid that turn out being less overcharged.

In order to make the most of the energy produced and to avoid the use of energy from the grid at times when the energy produced can't satisfy the demand, this project aims to optimize the self-consumption levels, that in the residential sector reaches values between 20 to 40 percent per year.

Knowing what Demand-Side Management (DSM) is, a project of this nature will be developed, which consists in monitoring and managing the energy produced by a household or industrial system. In order to develop this project, the creation of a self-consumption system is needed, which is formed by a photovoltaic panel, sensors, actuators and a load, as well as hardware that makes possible a wireless monitoring of the system conditions and also making the management of the energy produced remotely, through Information and Communication technologies. The software responsible for the monitoring and management of the energy of the system will be developed in JAVA language and Arduino Programming Language. A Wi-Fi module will be used in order to exchange data as a Client (Arduino UNO with Microchip RN-171-XV) and a Server (JAVA application developed in a computer). In the end the data regarding the energy produced will be analysed and it will be observed if the load management is done as expected.

Keywords: Self-consumption, Photovoltaic Panel, DSM, Optimization, Arduino, Wi-Fi networks.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, o Prof. João Almeida das Rosas, por me ter concedido a oportunidade de realizar este tema de dissertação, por todos os conselhos e sugestões, pela sua disponibilidade e simpatia sempre que requisitado, e que foi assim essencial no desenvolvimento de todo este trabalho.

Agradeço também à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, e em especial, ao Departamento de Engenharia Electrotécnica, por todas as condições disponibilizadas ao longo destes anos e todos os conhecimentos transmitidos, por esta grande e prestigiada instituição de ensino.

Quero também agradecer, sem especificar nomes, todos os meus colegas e amigos, que me acompanharam durante este percurso e que tornaram estes anos de estudos, numa lição que vai para além dos ensinamentos académicos. Agradeço por isso, todos os bons momentos que partilhámos juntos.

Agradeço também à minha irmã, simplesmente porque é minha irmã, e foi sem dúvida uma grande amiga, não só estes anos, como em toda a nossa vida.

Agora, e com especial carinho, quero dizer “Obrigado”, à minha companheira de todos os dias, a minha namorada Liliana, por ter estado sempre ao meu lado na realização deste projecto, por toda a ajuda que me deu e que me permitiu concluir o trabalho com sucesso, e por ter tornado tão mais fácil a conclusão do mesmo, através dos sorrisos que me arrancou.

Finalmente, dedico não só este trabalho, assim como todos os restantes, que me permitiram chegar ao fim deste percurso académico, aos meus queridos pais. Eles sabem o quanto importante foram para este momento e todos os sacrifícios pelos quais passaram. Estou-lhes assim agradecido do fundo do coração.

Índice de matérias

1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2. Estado da arte	5
2.1 Autoconsumo	5
2.2 Como funciona o autoconsumo	7
2.3 Benefícios e limitações do autoconsumo	8
2.4 Tipo de utilizadores	8
2.4.1 Autoconsumo para habitações	8
2.4.2 Autoconsumo para o meio industrial	10
2.5 Soluções para otimizar o autoconsumo	11
2.5.1 Gestão baseada em procura (DSM)	12
2.5.2 Sistemas de armazenamento/Baterias	12
2.6 Legislação que regula o autoconsumo	13
2.7 Paridade da rede	13
3. Desenvolvimento do sistema de autoconsumo	15
3.1 Requisitos funcionais	15
3.2 Architecturas do sistema proposto	16
3.2.1 Architectura física	16
3.2.2 Architectura do sistema de gestão	18
3.3 Desenvolvimento do sistema físico	20
3.4 Desenvolvimento da plataforma de gestão	22
3.4.1 Programa para Arduino UNO	23
3.4.2 Programa para o Servidor	25
4. Teste e validação	29
4.1 Sistema físico	29

4.2 Plataforma de gestão	31
4.2.1 Cliente	31
4.2.2 Servidor	33
4.3 Optimização do autoconsumo	34
4.3.1 Histórico de medições	34
4.3.2 Média de potência por hora	35
4.3.3 Perfil de produção do sistema	35
4.3.4 Teste de activação da carga	36
 5. Conclusões e trabalho futuro	 37
5.1 Síntese do trabalho efectuado	37
5.2 Trabalho Futuro	38
 Referências Bibliográficas	 39
 Anexos	 41
Anexo 1 – Dados armazenados entre as 15h e as 17h	41
Anexo 2 – Decreto de lei relativo ao Autoconsumo	47
Anexo 3 – Principais rotinas do Cliente	49
Anexo 4 – Principais rotinas do Servidor	51

Índice de figuras

Figura 2.1 Sistema doméstico de autoconsumo	7
Figura 2.2 Perfil de consumo e de produção numa habitação	9
Figura 2.3 Níveis de autoconsumo por potência instalada em habitações com diferente número de habitantes	9
Figura 2.4 Perfil de consumo e perfil de produção de uma determinada empresa do ramo comercial	10
Figura 2.5 Níveis atingíveis de autoconsumo para diferentes empresas, baseado nos seus perfis de consumo <i>standard</i>	11
Figura 2.6 Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN ($\leq 20,7\text{kVA}$) em Portugal.....	14
Figura 3.1 Arquitectura física do sistema.....	16
Figura 3.2 Arquitectura do sistema de gestão do projecto desenvolvido	19
Figura 3.3 Esquema do circuito criado.....	21
Figura 3.4 Diagrama de classes do <i>software</i> para o Servidor.....	26
Figura 4.1 Sistema físico em funcionamento	29
Figura 4.2 Módulo RN-XV, Arduino UNO e ligações efectuadas	30
Figura 4.3 Mensagens lidas a partir do cliente quando ligação é efectuada com sucesso	31
Figura 4.4 Mensagens lidas a partir do cliente quando ligação não é efectuada com sucesso ..	32
Figura 4.5 Mensagens lidas do lado do servidor quando ligação é efectuada com sucesso	33
Figura 4.6 Ficheiro com os dados enviados pelo cliente	34
Figura 4.7 Ficheiro com os dados recebidos pelo cliente e os valores de potência calculados ..	34
Figura 4.8 Perfil de produção de energia durante um dia de verão	35
Figura 4.9 Perfil de produção de energia e perfil de consumo de uma determinada carga	36

Índice de tabelas

Tabela 4.1 Valores de potência média por hora	35
---	----

Lista de acrónimos

AC	“Alternate Current”.
ADSM	“Active Demand-Side Management”.
DC	“Direct Current”.
DSM	“Demand-Side Management”.
EVA	“Ethylene Vinyl Acetate”.
FV	Fotovoltaico.
PVF	“Poly-Vinyl-Flouride”.
RESP	Rede Eléctrica de Serviço Público.
SERUP	Sistema Electrónico de Registo de Unidades de Produção.
UART	“Universal Asynchronous Receiver/Transmitter”.
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo.
UPP	Unidade de Pequena Produção.

1. Introdução

O trabalho desenvolvido para esta dissertação, está inserido no tema dos sistemas de autoconsumo de energia, e propõe-se a apresentar uma solução que permita tornar a monitorização e gestão da energia produzida mais fácil e eficaz, melhorando assim os níveis de autoconsumo de um sistema. Este capítulo pretende clarificar qual o motivo pelo desenvolvimento do trabalho relativo a este tema de dissertação, assim como indicar quais os objectivos a atingir. No final será explicado como está estruturada esta dissertação.

1.1 Motivação

A produção e consumo de energia, nas mais diversas formas, é um factor importante de progresso na actividade humana. A energia requerida para sustentar esse progresso não pára de aumentar, incentivando uma demanda diversificada de novas fontes de energia. Actualmente, pode-se enumerar a produção de energia a partir de fonte hidráulica, eólica, térmica, nuclear, biomassa e solar, como exemplos de geração de energia eléctrica mais utilizadas.

Cada região procura aumentar a sua sustentabilidade em termos energéticos, adoptando para isso as mais diversas estratégias de produção de energia. Uma destas estratégias, consiste na produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis para autoconsumo, tipicamente, recorrendo à utilização de painéis solares. No entanto, a utilização de painéis solares tem sido limitada, devido ao seu alto custo e baixo rendimento. Ainda assim com a constante subida do preço da energia fornecida pela rede, acompanhada com a constante descida dos preços destes painéis, o autoconsumo começa cada vez mais a ser visto como uma aposta viável para o futuro. Além disso, este tipo de solução não só se apresenta como uma forma de poupança de energia, como também permite aliviar a própria rede eléctrica. No entanto, para se usufruir desta estratégia é necessário elaborar formas adequadas de gestão de energia, especificamente para autoconsumo.

A recente criação de legislação para regular a produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis para autoconsumo criou, naturalmente, novas oportunidades para vários tipos de aproveitamento energético ao nível particular. A oferta de produtos comerciais para aproveitamento de energia para autoconsumo que começaram a surgir no mercado vem confirmar este facto. No entanto, para que se consiga obter os benefícios deste paradigma de produção de energia, é necessário estudar as melhores formas da sua exploração. Para tal, é necessário observar este tipo de equipamento em funcionamento e perceber os efeitos da sua utilização dentro das habitações particulares, nomeadamente, em termos do aproveitamento de energia e redução na factura energética. Com base nessa observação,

dever-se-á então adoptar estratégias de gestão de equipamento instalado para autoconsumo, tendo em conta a maximização dos benefícios obtidos.

Dentro deste contexto, o presente trabalho pretende contribuir para clarificar esta temática da produção de energia eléctrica para autoconsumo. Para isso, vai-se definir e implementar um cenário em que se produz energia eléctrica para autoconsumo. Este cenário implicará, por um lado, a construção de uma infra-estrutura composta por um painel fotovoltaico e respectiva ligação com a rede. Por outro lado, este cenário incluirá também o desenvolvimento dum sistema de gestão de energia, que permitirá obter o melhor aproveitamento da energia captada. Tal sistema deverá cumprir um conjunto de requisitos, por exemplo, fazer a monitorização e a operação remota do sistema e manter um histórico da energia gerada. Estes requisitos são necessários para permitir a melhor utilização do equipamento instalado, melhorando os níveis de autoconsumo. Deste modo, o trabalho desenvolvido visa propor uma solução capaz de preencher esses requisitos.

1.2 Objectivos

A realização deste tema de dissertação tem por objectivo, dentro do que são os sistemas de autoconsumo de energias, permitir fazer uma monitorização e gestão remota destes sistemas, e consequentemente, otimizar os níveis de autoconsumo. Com isso, pretende-se aumentar o retorno financeiro que poderá advir da utilização de um sistema de autoconsumo, nomeadamente para os sectores domésticos e industriais. Mais especificamente, os objectivos são os seguintes:

- Criar um sistema que permita a monitorização remota da energia produzida e a gestão da mesma num contexto real. Assim, o sistema será constituído por um painel fotovoltaico, que estará responsável pela alimentação de todo o sistema, por uma carga, que servirá para representar qualquer dispositivo ligado a um circuito de um sistema real e uma série de sensores e actuadores que permitirão monitorizar e melhorar os níveis de energia produzidos e analisar de uma forma ponderada se as condições estarão reunidas para activar uma carga. Isto com recurso a ferramentas adequadas, neste caso um microcontrolador, um módulo sem fios e um servidor para recolher os dados e processá-los. Dado que não foi possível obter material adicional, para além deste referido, algumas facetas dum cenário de produção para autoconsumo tiveram que ser simuladas.

- Desenvolver as aplicações de *software* necessárias, que executem desde a medição com recurso aos sensores e conversão analógica para digital, à transmissão dos dados medidos para o servidor, ou ao processamento dos mesmos para determinar-se quais as cargas a activar.

- Verificar se os dados serão correctamente recebidos, armazenados e tratados de forma a gerir a activação de cargas. Com isto, pretende-se também manter um histórico da energia produzida ao longo do tempo de operação do sistema.

- Análise dos dados recolhidos de forma a traçar um perfil de produção de energia e avaliar as horas em que uma carga será activada traçando também o seu perfil de consumo.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é constituída por 5 capítulos. Neste capítulo de introdução, são indicados os motivos que levaram à escolha e desenvolvimento deste tema de dissertação, assim como os objectivos que se pretendem atingir.

O capítulo 2, Estado da arte, tem o propósito, através de uma revisão bibliográfica, de esclarecer o que é o autoconsumo, quais os constituintes duma infra-estrutura para autoconsumo e como funcionam. Pretende-se também abordar as suas vantagens e desvantagens. Também se faz referência aos conceitos que são relevantes para a temática do autoconsumo.

No capítulo 3, Desenvolvimento, é exposto como foi especificado e desenvolvida a infra-estrutura e respectivo sistema de gestão. Após serem formulados os requisitos funcionais, propõe-se uma arquitectura adequada, que serve de referência ao desenvolvimento do sistema físico e da plataforma de gestão e monitorização.

O capítulo 4, Teste e validação, apresenta os resultados obtidos pelo sistema criado. Especificamente, vão ser testados os requisitos funcionais que o sistema desenvolvido satisfaz, nomeadamente, permitir a visualização dos históricos de produção assim como a resposta do sistema aquando de uma tomada de decisão quando se pretende activar uma carga com um determinado perfil de consumo.

Finalmente, no capítulo 5, Conclusões e trabalho futuro, é feita uma discussão final acerca do trabalho desenvolvido e dos resultados obtidos, assim como são feitas sugestões acerca de aspectos importantes a considerar para o trabalho futuro no âmbito deste projecto.

2. Estado da arte

2.1 Autoconsumo

Com o processo de liberalização iniciado no sector energético em 1996, pretendia-se atingir um grande objectivo, que era o de assegurar que os consumidores europeus pudessem escolher o seu fornecedor de energia de acordo com a oferta disponível e dentro de preços acessíveis. Até agora este processo tem evoluído, mas apenas ficará completo quando os consumidores puderem optar pela energia produzida pelos fornecedores existentes ou pela energia produzida por si próprios. Este processo é apelidado de “autoconsumo” e pretende-se que seja uma opção competitiva com a da oferta pela rede eléctrica (EPIA, 2013).

O autoconsumo consiste numa forma de produção e consumo de energia baseada numa instalação em que se produz electricidade para consumo próprio, cujo sistema pode estar ou não ligado à rede eléctrica de serviço público. O autoconsumo fotovoltaico pode definir-se ainda pela possibilidade de um consumidor ligar um sistema fotovoltaico, com uma capacidade correspondente aos seus consumos, ao seu próprio sistema eléctrico ou à rede eléctrica do distribuidor de energia. Com isto, o consumidor pode consumir toda a energia produzida no seu próprio sistema. O consumidor pode também ser recompensado pela energia não consumida, que pode ser introduzida na rede do distribuidor de energia, tal como se verifica em alguns países europeus (Hauff & Rendschmidt, 2011).

Também é importante ressaltar que, de acordo com a informação disponível, conclui-se que a aposta em sistemas de autoconsumo é mais frequente recorrendo a sistemas FV para a produção de energia eléctrica. Até porque o autoconsumo faz com que uma das principais vantagens dos sistemas fotovoltaicos se destaque: o facto de existir uma boa correlação entre a produção de energia e a sua necessidade ao longo do tempo. Ou seja, a altura do dia em que se gera mais energia é também aquela em que a energia é mais necessária em termos gerais, mas principalmente no sector industrial, tal como é referido em SMA (2010).

Dentro dos sistemas de autoconsumo FV, existem várias formas de os classificar comumente referidas pelas empresas do sector eléctrico:

- Sistemas de Autoconsumo directo, sem armazenamento de energia.
- Sistemas de Autoconsumo com armazenamento de energia (com baterias).

Os sistemas de Autoconsumo directo são sistemas fotovoltaicos instalados na propriedade do consumidor e que estão ligados à rede do fornecedor de energia. A energia produzida durante o dia é consumida directamente, sendo que a energia produzida em excesso poderá ser desperdiçada, ou introduzida na rede. Adicionalmente, pode-se utilizar um sistema de gestão energética, DSM, com o objectivo de melhorar a eficiência do sistema, tal como será explicado mais adiante (Castillo-Cagigal et al., 2011; Luthander, Widén, Nilsson, & Palm, 2015). Quando não se consegue produzir energia, à noite por exemplo, será então consumida a energia proveniente da rede pública.

Já os sistemas com armazenamento de energia contam com a presença de baterias, onde se armazena o excedente de energia produzida pelos painéis FV. Isto permite não só evitar desperdícios energéticos, ao não usufruir no sistema de toda a energia eléctrica produzida instantaneamente, como também permite utilizar a energia produzida em alturas em que os painéis FV não satisfazem a necessidade de energia do sistema, como por exemplo à noite. Com isto pode-se ainda ligar o sistema à rede pública e desta forma usufruir da energia eléctrica proveniente da mesma. Tendo a possibilidade de armazenar energia, é possível então criar sistemas completamente autónomos.

Pode-se ainda aliar um sistema com armazenamento com um sistema de gestão, referido como ADSM (Active Demand-Side Management), de forma a aumentar a eficiência dos sistemas de autoconsumo (Castillo-Cagigal et al., 2011), que é um factor que importa considerar no âmbito deste trabalho.

Através de diversos tipos de incentivos, nomeadamente monetários, tem-se dinamizado a utilização de sistemas de autoconsumo. Por exemplo, receber mais dinheiro por kWh de energia solar consumida ao invés de a encaminhar para a rede (EPIA, 2013).

Quando olhamos para o autoconsumo como uma alternativa viável, algumas questões de maior importância levantam-se, tais como: Que níveis de autoconsumo se conseguem atingir numa habitação normal dentro de condições normais, sem por exemplo tomar medidas acrescidas? Que soluções existem capazes de aumentar os níveis de autoconsumo?

2.2 Como funciona o autoconsumo

Na Figura 2.1 é apresentado um esquema simplificado que ilustra como um sistema de autoconsumo FV funciona. A energia eléctrica DC produzida nos painéis FV, é convertida pelo inversor em tensão alternada (AC), para desta forma, ser consumida pelo equipamento e dispositivos instalados na habitação. São ainda representados na figura dois contadores, que permitem medir os níveis de autoconsumo. O primeiro contador (UPAC) é usado para fazer a contagem da totalidade da energia produzida nos painéis FV e o segundo (bidireccional), que faz a contagem do excedente de energia produzida e que é injectada na rede pública. Este contador também faz a contagem da energia proveniente da rede pública e consumida pelo utilizador. Este segundo contador é utilizado para esquemas de “net metering” (Alves, 2014).

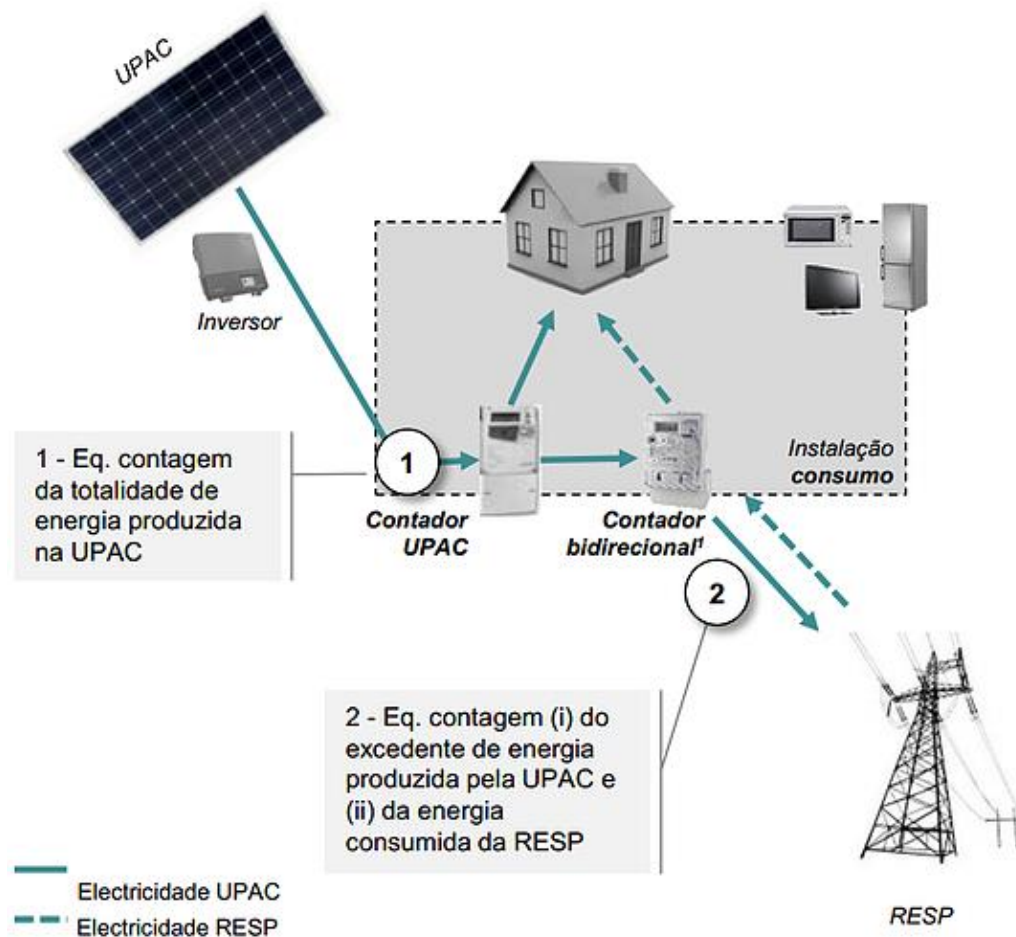


Figura 2.1 Sistema doméstico de autoconsumo (Wixstatic, 2015).

2.3 Benefícios e limitações do autoconsumo

Uma das razões para promover o autoconsumo é a capacidade de aliviar a rede eléctrica principalmente em regiões de média e baixa tensão, até pelo menos a rede ser modernizada de forma a ser mais eficaz no processo de distribuição. Alivia a rede por duas razões: (1) a energia que é produzida e consumida no mesmo local não necessita de ser transportada pela rede, (2) a energia consumida não precisa de ser comprada à rede (SMA, 2010).

Uma das razões para ser mais eficaz, é o facto de nos sistemas fotovoltaicos, a energia produzida e necessária poderem ter uma boa correlação ao longo do tempo. Para além disso, o uso de sistemas de autoconsumo fará com que a energia utilizada seja mais barata do que a disponível na rede (SMA, 2010).

No entanto, uma das suas grandes limitações é o aproveitamento do total da energia produzida para o autoconsumo, sendo que numa habitação, se desperdiçam em média (em termos de autoconsumo) entre 60% a 80% da energia produzida. Isto deve-se a diversos factores, entre eles a capacidade do sistema FV, os factores climáticos, em que ao longo das estações a produção e a necessidade de energia se alteram, ou ainda devido à influência na produção e consumo que os dias e as noites trazem. À noite não se produz energia, logo não pode ser usada. Durante os dias com grandes picos de produção, é muito difícil consumir toda a energia que está a ser produzida instantaneamente (SMA, 2010).

Uma forma de se obter melhores benefícios com o uso do autoconsumo é alterando o comportamento dos seus utilizadores. Por exemplo, fazendo uso das máquinas de maior consumo durante o dia, nas alturas de maior produção eléctrica, e ainda, evitando ligar as máquinas ao mesmo tempo, mas sim ligando-as de forma sucessiva, podendo até utilizar-se um sistema centralizado de controlo ou de monitorização. Estamos portanto a falar de DSM ou ainda ADSM (Castillo-Cagigal et al., 2011; Luthander et al., 2015; SMA, 2010). Estas formas de optimização serão revistas com maior detalhe nas páginas seguintes.

2.4 Tipos de utilizadores

De um modo geral, é possível subdividir os utilizadores destes sistemas em dois grandes grupos, sendo eles os de autoconsumo para habitações e os de autoconsumo para o meio industrial.

2.4.1 Autoconsumo para habitações

Para determinar os níveis de autoconsumo de um sistema, é necessário comparar os níveis de consumo eléctrico do sistema com a quantidade de energia produzida pelos painéis FV.

Há diversas variáveis que influenciam o consumo da energia numa casa, entre elas o número de pessoas que lá vivem e os seus hábitos diários. Já no que toca a produção, depende da localização, do clima, e bem assim, do sistema utilizado.

Na Figura 2.2 é possível ver a produção e o consumo de energia eléctrica numa habitação de 4 pessoas utilizando um sistema de produção FV de 5 kWp durante um dia de verão (SMA, 2010). É de referir que as áreas cinzentas representam a energia produzida e a azul claro a consumida, sendo a azul-escuro a energia produzida sobreposta à consumida.

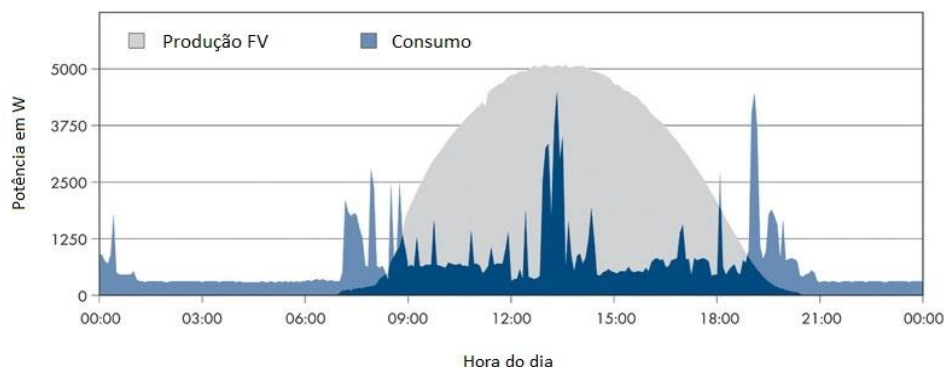


Figura 2.2 Perfil de consumo e de produção numa habitação. Adaptado de (SMA2, 2010).

Na Figura 2.3, estão representados os níveis de autoconsumo atingidos, em relação ao total da energia produzida, numa típica habitação de 1 a 5 pessoas, segundo estudos realizados pela SMA acerca dos níveis de autoconsumo médios. É possível concluir que para um sistema FV de 5 kWp se atingem valores entre os 20% a 40% anuais (SMA, 2010). A linha branca representa uma habitação com um habitante, a azul claro com dois habitantes, a azul escuro com 3 habitantes, a vermelha com 4 habitantes e finalmente a preta com 5 habitantes.

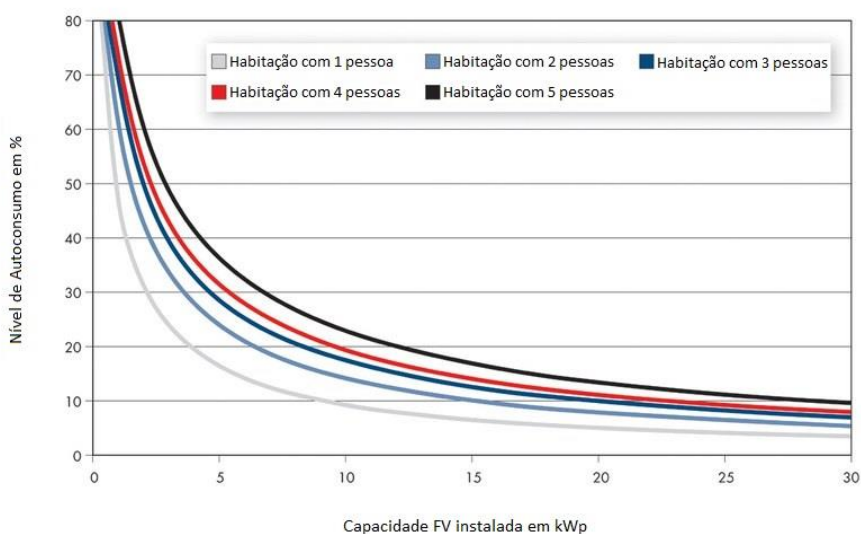


Figura 2.3 Níveis de autoconsumo por potência instalada em habitações com diferente número de habitantes. Adaptado de (SMA3, 2010).

2.4.2 Autoconsumo para o meio industrial

O uso deste tipo de sistemas também tem grande interesse no mundo industrial, na medida em que são maiores os consumos de energia e é por isso mais benéfico o autoconsumo de energia, visto que é aproveitada uma maior percentagem da energia produzida.

Sendo que os “load profiles” (perfil de consumo) dos mais variados tipos de negócios diferem do de uma habitação, em alguns deles, os níveis de autoconsumo podem se revelar muito satisfatórios, mais até que nos de habitações em certos casos, pois alguns deles apresentam distribuições de carga mais consistentes ao longo do dia, como é exemplificado na Figura 2.4 (SMA, 2013).

Na Figura 2.4 representam-se os perfis de produção e consumo de uma determinada empresa, é possível perceber que este tipo de negócio apresenta uma necessidade de energia eléctrica relativamente constante durante o dia, áreas a cinzento e a verde.

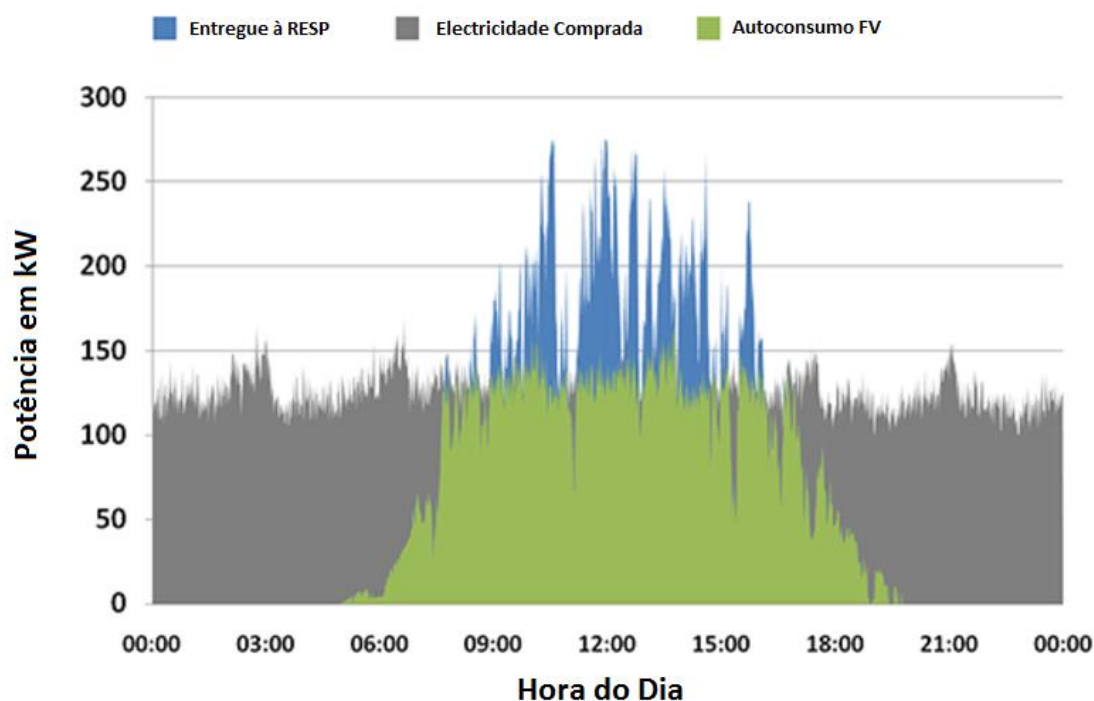


Figura 2.4 Perfil de consumo e perfil de produção de uma determinada empresa do ramo comercial
Adaptado de (SMA4, 2013).

No entanto, no meio industrial os perfis de consumo podem ser bastante variados, tal como se pode verificar na Figura 2.5. Tomando por exemplo o perfil L1, que se trata de uma quinta de produção de leite, em que, neste caso, é necessária mais energia de manhã e final de tarde, quando é retirado o leite. Neste caso, é perceptível que nestes períodos é difícil que um sistema fotovoltaico possa providenciar toda a energia requerida, limitando assim o potencial de autoconsumo entre os 20% e os 70%. Já noutro tipo de indústria, como por exemplo o G3, que se pode tratar de um supermercado, em que os sistemas de refrigeração

estão ligados todos os dias, a todas as horas do dia, apresentando assim um perfil de consumo bastante consistente, o autoconsumo pode subir até aos 100%. Já por exemplo o perfil G4 pode representar uma loja que fecha ao Domingo, fazendo com que o autoconsumo máximo que pode ser atingido ronde os 90% (SMA, 2013).

Perfil de Consumo	Comércio que funciona apenas nos dias úteis (8h - 18h) G1	Comércio predominantemente nocturno G2	Comércio contínuo G3	Loja G4	Indústria de produção de leite L1	Outras explorações agrícolas L2
						
Autoconsumo Típico	10 - 90 %	10 - 100 %	10 - 100 %	10 - 90 %	20 - 70 %	10 - 100 %

Figura 2.5 Níveis atingíveis de autoconsumo para diferentes empresas, baseado nos seus perfis de consumo *standard*.

Adaptado de (SMA5, 2013).

2.5 Soluções para otimizar o autoconsumo

Existem dois principais métodos para otimizar o autoconsumo. São eles, o uso de sistemas de armazenamento de energia, normalmente recorrendo a baterias eléctricas, ou ainda a gestão da energia consumida, sendo este método conhecido como DSM, conforme descrito mais adiante. Estes métodos têm sido alvo de estudos e publicados em diversos artigos, abordando cada método individualmente e a combinação de ambos. Estes estudos indicam que a utilização de baterias com capacidade entre 0.5-1 kWh por cada kW de potência FV permite um acréscimo nos níveis de autoconsumo entre os 13-24%, e ainda, que usando técnicas de DSM aumentariam o autoconsumo entre 2% e 15%, isto comparando com os valores originais dos níveis de autoconsumo (Luthander et al., 2015). Do lado empresarial já se toma em consideração estes aspectos. Por exemplo, a empresa SMA (SMA, 2010) refere que a alteração dos hábitos de consumo, ou outras técnicas de DSM, permitem aumentar em cerca de 10% o autoconsumo. Indica ainda que o uso de um sistema de gestão automático da energia permite uma melhoria no nível de autoconsumo. Essa gestão seria baseada na utilização dum aparelho capaz de monitorizar a energia produzida, tal como o Sunny Beam da empresa referida.

2.5.1 Gestão baseada em procura (DSM)

O DSM pode ser descrito como uma forma de melhorar os consumos de energia de um sistema. Mais concretamente, Luthander et al., (2015), afirma que o termo é associado ao “load shifting”, ou seja mover os picos de necessidade de energia eléctrica para momentos em que também se tem mais energia produzida disponível, que correspondem com as alturas do dia em que se produz mais energia, permitindo assim um maior nível de autoconsumo. Estes objectivos podem ser atingidos de forma manual ou de forma automática, com sistemas de monitorização e gestão.

Por exemplo, em SMA, (2010) propõe-se uma solução de monitorização em que não só se monitoriza a potência fotovoltaica, como também se monitoriza a quantidade de energia injectada na rede, o que nos indica que não estamos a consumir toda a energia produzida, e que podemos por isso consumir mais energia em outras aplicações.

2.5.2 Sistemas de armazenamento/Baterias

Para melhorar os níveis de autoconsumo de um sistema, pode recorrer-se a sistemas de armazenamento, em que o excesso de energia produzida nos painéis fotovoltaicos pode ser armazenado em baterias. Esta energia pode então ser posteriormente utilizada quando efectivamente necessário (Luthander et al., 2015; Wohlmuth, Jetzinger, & Schmid, 2014).

Conforme já mencionado, Luthander et al., (2015) refere que com a utilização de baterias com capacidade entre 0.5-1 kWh por cada kW de potência FV, se consegue melhorias nos níveis de autoconsumo na ordem dos 13-24%. Por outro lado, estes estudos sugerem que um correcto dimensionamento e configuração das partes do sistema de autoconsumo são cruciais para que estes sejam também atractivos do ponto de vista económico. Por exemplo, um sobredimensionamento do equipamento de geração de energia terá consequências drásticas no retorno financeiro pretendido (Wohlmuth et al., 2014).

No entanto, as baterias apresentam actualmente custos ainda muito elevados. Portanto, a aposta em sistemas de armazenamento ainda não é muito apelativa. Por exemplo, uma solução com baterias só conseguirá apresentar retorno financeiro passados cerca de 24 anos, face aos 18 de sistemas sem baterias. Por outro lado, devido aos avanços tecnológicos que se têm verificado neste campo, é expectável que nos próximos anos o custo das baterias desça para níveis mais apelativos, podendo tornar-se numa aposta economicamente viável (Wohlmuth et al., 2014).

2.6 Legislação que regula o autoconsumo

Com o Decreto Lei 153/2014 de 20 de Outubro de 2014, cuja primeira página se encontra no Anexo 2, estabelece-se o regime jurídico aplicável à produção de electricidade destinada ao autoconsumo, com ou sem ligação à rede pública (RESP) a partir de recursos renováveis ou não, e com recurso a unidades de produção para autoconsumo UPAC. Com este decreto, são também introduzidas certas medidas que promovem a aposta do autoconsumo em Portugal (Decreto de Lei 153/2014 de 20 de outubro, 2014).

É agora possível para particulares, condomínios e empresas utilizarem UPAC, sendo obrigatório seguro de responsabilidade civil, e a instalação terá de ser executada por entidades qualificadas, excepto se se tratarem de kits de autoconsumo. Caberá ao produtor escolher se quer ou não injectar na rede energética de serviço público (RESP) a energia não consumida. Caso o produtor queira, será possível vender o excedente produzido, desde que sejam seguidas as devidas normas.

Dependendo da potência a instalar, terão que ser feitos eventualmente registos e pagamentos de taxas junto da SERUP (Sistema Electrónico de Registo de Unidades de Produção). Nomeadamente é necessário efectuar, ou não, uma das acções abaixo discriminadas, conforme a potencia envolvida:

- Abaixo dos 200 W: sem comunicação e sem taxa;
- Entre os 200 W e os 1,5 kW: comunicação prévia e sem taxa;
- Entre os 1,5 kW e 1 MW é necessário registo e certificado de exploração
- Acima de 1 MW: licença de produção e de exploração.

Mas se o sistema não estiver de forma alguma ligado à rede, considerando-se "em ilha", então bastará a comunicação prévia independentemente da potência instalada (Decreto de Lei 153/2014 de 20 de outubro, 2014; Futursolutions, 2015).

2.7 Paridade da rede

Importa fazer referência a este conceito, a paridade da rede, que é bastante importante na temática da geração de energia para autoconsumo. Conforme referido por Elliston, MacGill, & Diesendorf (2010), a paridade da rede é definida pelo instante em que o sistema FV de produção ligado à rede fornece electricidade ao seu consumidor ao mesmo preço da electricidade fornecida pela rede.

O modelo dinâmico da paridade de rede é baseado na relação histórica entre duas tendências: o decréscimo do custo de produção de energia FV e o constante aumento dos preços da energia eléctrica (Alves, 2014).

No actual regime de autoconsumo em Portugal, e tendo em conta os tarifários da energia para uma instalação de Baixa Tensão Normal, presentes na Figura 2.6, assim como o valor do

custo da energia eléctrica produzida apontado por Pereira(2015), e que é de 0.15 €/kWh em regime de autoconsumo, verificamos que estamos perto de atingir a paridade da rede para o sector residencial. No entanto, segundo a PV Parity Project (WIP - Renewable Energies, 2013) é expectável que se atinja a paridade da rede em Portugal tanto no sector residencial como comercial nos próximos anos, o que irá tornar os sistemas de autoconsumo como uma opção cada vez mais interessante.

Preço da energia ativa	Período horário	EUR/kWh	
		até 6,9 kVA	acima de 6,9 kVA
Simple $\leq 2,3\text{kVA}$		0,1367	-
Simple $> 2,3\text{ kVA}$		0,1587	0,1602
Bi-horária	Horas fora de vazio	0,1853	0,1890
	Horas de vazio	0,0978	0,09886
Tri-horária	Horas de ponta	0,2106	0,2144
	Horas de cheias	0,1675	0,1704
	Horas de vazio	0,0978	0,0986

Figura 2.6 Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTN ($\leq 20,7\text{kVA}$) em Portugal (ERSE, 2015).

3. Desenvolvimento do sistema de autoconsumo

Este capítulo descreve o processo de especificação e desenvolvimento da infra-estrutura para a geração de energia para autoconsumo. Um aspecto que importa salientar, é que dada a escassez de recursos e de fundos monetários disponibilizados, só foi possível implementar apenas uma parte do cenário de geração para autoconsumo, conforme se encontra descrita na secção 2.2. Ainda assim, a parte que foi possível implementar permitiu abordar os aspectos mais relevantes desta temática e bem assim, permitir especificar a componente de gestão, que é de maior importância no âmbito deste estudo.

O desenvolvimento do projecto é dividido em duas partes: uma parte física e uma parte informática. A parte física consiste na construção de um sistema constituído por um circuito eléctrico com um painel fotovoltaico e diversos componentes, que permitem a monitorização da potência produzida e controlo das ligações do circuito. A parte informática consiste em aplicações de *software* desenvolvidas para controlar e gerir os diferentes componentes do sistema referido.

3.1 Requisitos funcionais

Conforme mencionado antes, a componente de gestão da infra-estrutura de geração de energia para autoconsumo é o factor mais importante para os objectivos do presente trabalho, pois uma gestão melhorada permite obter maiores benefícios em termos de aproveitamento e consumo energético. A confirmar este ponto de vista, está o facto de já existir no mercado bastante oferta de equipamento para geração de energia dedicado especificamente ao segmento de autoconsumo. Por outro lado, nota-se uma relativa ausência de sistemas de monitorização e gestão que satisfaçam por completo as necessidades dos utilizadores e que devem ser associados a estes equipamentos. Desta forma, e tendo em consideração o nosso foco na parte de gestão, a especificação desta componente começa com a definição dos requisitos funcionais que esta deve satisfazer. Estes requisitos são:

RF1 – Monitorizar os valores de corrente e tensão produzidas pelo sistema criado, de forma remota.

RF2 – Manter um histórico da energia produzida ao longo do tempo.

RF3 – Calcular a potência produzida e avaliar se uma carga pode ser activada numa determinada hora, tendo em conta o perfil de produção de energia para aquela hora. Eventualmente, também se pode efectuar o “load shifting” / “scheduling” de ligação de cargas, ou seja, ligando as cargas de forma sucessiva, conforme a potência de geração e as necessidades de cada carga.

RF4 – Activar uma carga de forma remota se as condições se verificarem.

3.2 Architecturas do sistema proposto

Após definidos os requisitos funcionais do sistema de gestão de energia, importa então desenvolver e implementar as diversas componentes do sistema referido. Conforme referido antes, estas componentes ficam organizadas numa arquitectura composta por duas partes: a arquitectura física, que por exemplo, comporta o painel FV, sensores e outros componentes; e a arquitectura do sistema de gestão, que compreende os módulos de *software* programados para gerir o referido sistema.

3.2.1 Arquitectura física

A arquitectura física para o sistema de geração de energia para autoconsumo, encontra-se esquematizada na Figura 3.1.

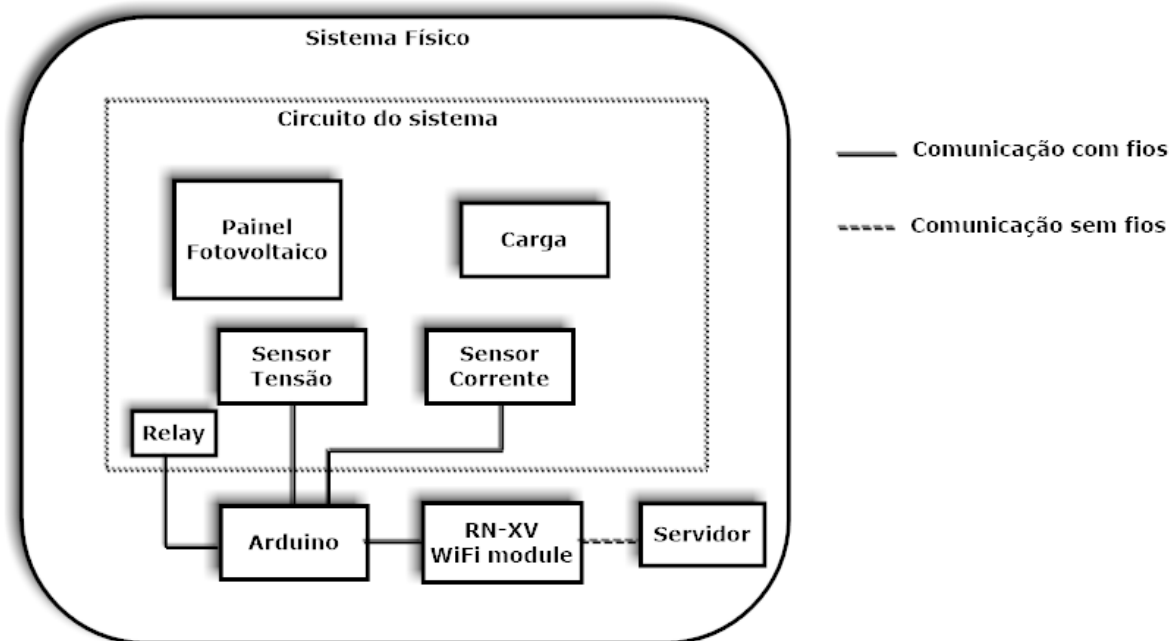


Figura 3.1 Arquitectura física do sistema.

Basicamente, esta arquitectura representa um esquema/circuito eléctrico que permite obter energia eléctrica com recurso a um painel fotovoltaico.

A corrente e tensão da energia gerada são monitorizadas com recurso aos sensores de tensão e corrente, conforme ilustrados no esquema da arquitectura na Figura 3.1.

Mediante a utilização do circuito microcontrolador com tecnologia Arduino, os valores medidos são constantemente convertidos para valores digitais. Esses valores são então enviados para o servidor, descrito mais adiante, através de uma placa de comunicação *wireless*. Os sucessivos valores de tensão, de corrente e respectivas datas de medição são então armazenados no servidor. As componentes mencionadas comunicam através da rede local *wireless* presente na habitação, ou instalação industrial. Depois disso é calculada a potência fornecida pelo painel através dos dados armazenados, e é calculada a média de potência a cada hora de um determinado intervalo de tempo em dias. Após todo esse

processo, se for necessário activar uma carga com um determinado perfil de consumo, e se a potência actual e a média de potência para os últimos dias e àquela hora indicarem que é possível activar a carga referida, então o servidor enviará uma mensagem para o módulo *wireless* para este, por sua vez, activar o circuito em que está ligada a carga.

É então finalmente possível identificar os componentes necessários para a realização deste sistema, sendo este constituído por:

-Painel fotovoltaico

O painel FV utilizado é o Kyocera KC40. Este painel é constituído por células fotovoltaicas de silício policristalino, que estão encapsuladas entre camadas de vidro, de EVA (Ethylene Vinyl Acetate) e ainda uma camada de fundo de PVF (poly-vinyl-flouride). Trata-se de um painel fotovoltaico de corrente contínua (DC), cuja potência nominal máxima é de 40W tensão nominal máxima de 16.9 volts e corrente nominal máxima 2.34 A (Gelder, 2011).

-Placa microcontroladora

A placa microcontroladora é baseada em tecnologia Arduino, mais especificamente o Arduino UNO, que é constituída por um microcontrolador ATmega328P com diversos *inputs* e *outputs* digitais e analógicos, e uma conexão USB (Arduino, n.d.). Esta placa é facilmente programável e apresenta reduzidas dimensões e foi por isso escolhida, pois pode ser programada para medir os valores de corrente e tensão produzidos pelo painel fotovoltaico e encaminhar esses dados para um módulo de comunicação *wireless*. Esta placa é também responsável por activar uma carga, assim que receber um pedido com esse efeito. Para além disso, o programa também tem como objectivo configurar o módulo *wireless*, de forma a ser utilizado para comunicar com o servidor. Também teve importância na escolha deste dispositivo o facto de existirem inúmeras bibliotecas que permitiram criar o programa necessário com maior facilidade.

-Módulo de comunicação wireless

Este módulo é da marca Microchip, com a referência RN-171-XV. Trata-se de um módulo que providencia conectividade Wi-Fi e permite utilizar os protocolos TCP/IP com alguma facilidade. A sua configuração pode ser feita através da sua respectiva UART. É através da UART que se estabelece a comunicação entre este módulo Wi-Fi e o Arduino UNO. Portanto, é através desta ligação, que o módulo recebe as instruções vindas do programa desenvolvido no Arduino UNO. Por sua vez, o módulo *wireless* comunica através da rede local da habitação com o servidor da componente de gestão do sistema de geração de energia que está a ser descrito. Os valores medidos são enviados utilizando os protocolos TCP/IP (Roving Networks, 2012).

-Sensor de corrente

O sensor de corrente possui a referência ACS714 e tem a capacidade para medir entre -30A e +30A. Este sensor é baseado em efeito de Hall e permite medir a corrente com uma sensibilidade à saída de 66mV/A e opera à tensão de 5V. O valor de *output* do sensor é ligado a uma porta analógica do Arduino UNO e convertido para o formato digital. O valor digital obtido é após a sua medição convertido em amperes pelo programa desenvolvido (Allegro Microsystems, 2011).

-Sensor de tensão

O sensor de tensão é feito através de um divisor de tensão. Sabendo o valor de tensão máxima produzida pelo painel fotovoltaico e a tensão máxima a aplicar nas portas analógicas do Arduino UNO, foram calculados os valores das resistências do divisor de tensão de forma ajustar ao nível máximo da entrada analógica da placa Arduino. O programa desenvolvido faz então o ajuste para se obter o valor efectivamente medido no painel FV.

-Cargas do sistema:

De forma a poder-se simular o equipamento presente na habitação, optou-se pela utilização de um conjunto de cargas que simula a presença desse equipamento. Essas cargas, ligadas ao sistema de gestão de energia, são as seguintes:

- *Relay* activado a 5V.
- Sistema de iluminação, utilizado para simular uma carga.
- Resistência variável, utilizada para representar uma carga.

3.2.2 Arquitectura do sistema de gestão

A arquitectura do sistema de gestão de energia deste projecto está representada na Figura 3.2. Conforme se pode observar, esta arquitectura é composta por um módulo cliente e um módulo servidor. Na figura estão também representadas as interações entre as diversas componentes, que são descritas mais adiante.

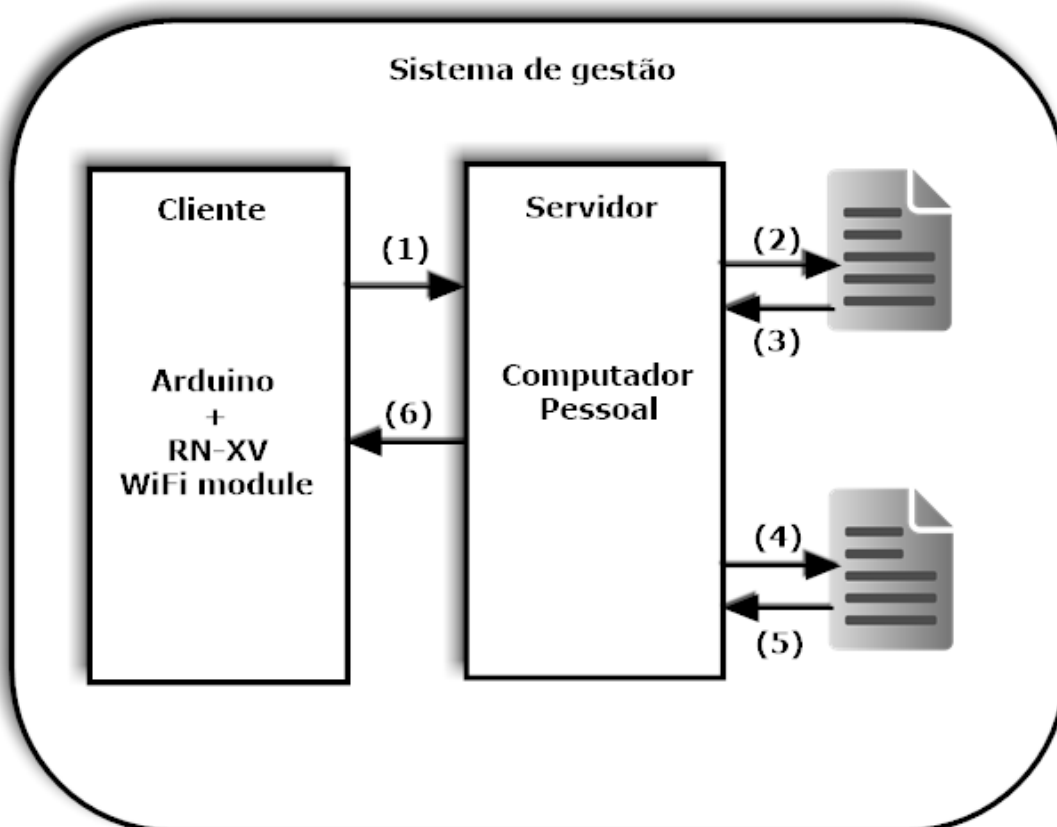


Figura 3.2 Arquitectura do sistema de gestão do projecto desenvolvido.

Portanto, este sistema de gestão baseia-se numa arquitectura Cliente-Servidor. A parte do cliente é constituída pelo conjunto do Arduino com o módulo Wi-Fi RN-XV mencionado e descrito antes. O servidor é, neste caso, uma aplicação em execução num computador pessoal. Tal como é ilustrado, os dados recebidos pelo cliente são armazenados em ficheiros no servidor. De seguida, é feita uma breve descrição dos passos sequenciais que representam as interações referidas:

- (1) O cliente depois de medir os valores de tensão e corrente, encaminha-os para o servidor.
- (2) O servidor, depois de receber os dados, armazena-os num ficheiro de texto com a data e hora de recepção dos mesmos.
- (3) O servidor faz uma leitura dos dados contidos no ficheiro de texto, para poder processá-los.
- (4) Depois de processar os dados, estes são assim armazenados noutra ficheiro de texto já com a potência calculada para cada instante.
- (5) Os dados deste último ficheiro com as potências são lidos de forma a calcular as médias de produção de energia por hora e, finalmente, verificar se a carga pode ser activada.
- (6) Depois de avaliar se naquele instante é possível activar a carga pretendida, o servidor envia uma resposta ao cliente informando-o do mesmo.

Finalmente e depois de seguir estes passos, o cliente activará ou não o *relay* que desbloqueia o circuito com a carga avaliada.

3.3 Desenvolvimento do sistema físico

Descrever-se-á em seguida a parte física do sistema desenvolvido.

O circuito criado é então constituído pelo painel fotovoltaico, seguido do sensor de corrente que está ligado em série com a carga, que neste caso trata-se de um pequeno sistema de iluminação que permite confirmar com facilidade quando a carga está ou não activa. Finalmente, o circuito é ligado à massa. Um circuito paralelo está ligado entre o início e fim do circuito, no qual é criado um divisor de tensão que funciona como sensor de tensão. A razão para se criar um divisor de tensão, deve-se ao facto do valor de tensão ser lido através de uma das portas analógicas do Arduino e essas mesmas apenas suportarem tensões até cerca de 5V. Deste modo, e tendo em conta que a tensão nominal máxima gerada pelo painel fotovoltaico será de 16.9V, fixando uma resistência $R1=2.46k\Omega$ e sabendo que num divisor de tensão temos:

$$V_{out} = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_{in} \quad (3.1)$$

Resolvendo em ordem a $R2$ vem:

$$R2 = \frac{R1 \times \frac{V_{out}}{V_{in}}}{(1 - \frac{V_{out}}{V_{in}})} \quad (3.2)$$

Para obter-se o valor da resistência $R2$, substitui-se pelos valores mencionados e temos então:

$$R2 = \frac{2.46k\Omega \times \frac{5V}{16.9V}}{(1 - \frac{5V}{16.9V})} \quad (3.3)$$

O valor resultante é então:

$$R2 = 1.03k\Omega \quad (3.4)$$

Devido ao facto de não haver nenhuma resistência com o exacto valor de $1.03k\Omega$, utilizou-se uma resistência com um valor aproximado, sendo esse valor $1.08k\Omega$. Esta ligeira alteração

pode introduzir erros na leitura dos valores de tensão medidos, mas estes são pouco significativos para o sistema proposto. Para maior rigor, poder-se-á utilizar um potenciômetro.

Finalmente e já com todos os componentes identificados, procedeu-se à montagem do circuito que está representado esquematicamente na Figura 3.3.

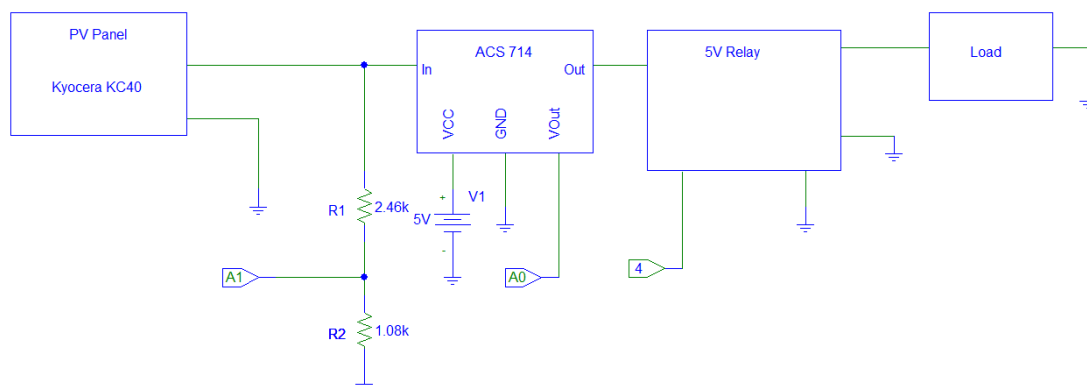


Figura 3.3 Esquema do circuito criado.

As etiquetas A0, A1, representam as portas analógicas do Arduino UNO, sendo as portas A0 e A1 utilizadas como *inputs*, pois são as portas que recebem os valores dos sensores de corrente e tensão, respectivamente. A porta 4 representa uma porta digital, que é utilizada como *output*, com o intuito de activar o *relay*, dependendo das condições verificadas e da mensagem recebida pelo Arduino UNO.

Conforme se pode perceber, não estão representados nesse circuito o Arduino UNO nem o módulo Wi-Fi Microchip RN-171-XV, isto pela complexidade dos circuitos que os compõem, e pelo facto de representarem a fronteira entre o tratamento de sinais analógicos para digitais. Conforme já foi evidenciado acima, os fios por onde passam as saídas dos sensores estão ligados a *pins* de *input* analógico do Arduino. Um dos outros *pins* é de *output*, sendo este responsável por activar ou desligar o *relay*.

Anteriormente foi referido que os dados recebidos pelo Arduino teriam que ser encaminhados para um servidor. Sendo que para realizar esta tarefa se optou por utilizar o módulo Wi-Fi acima mencionado, terá que existir comunicação entre estes dispositivos. Desta forma, estes comunicam através de UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Segundo este protocolo, os *pins* de Tx, de transmissão, de um dispositivo ficam ligados aos *pins* Rx, de recepção, doutro dispositivo. Para além desses dois fios e para o módulo Wi-Fi operar na sua configuração mais simples, basta apenas ligar também o *pin* de alimentação VDD_3V3 e o pin GND da massa.

É também importante referir que para o sensor de corrente poder operar, e tal como é sugerido no circuito representativo do sistema, será necessário alimentar o sensor e ligá-lo à massa.

3.4 Desenvolvimento da plataforma de gestão

Após a instalação completa de todo o circuito, segue-se a etapa de recolha e tratamento dos dados. Obviamente e tendo em conta a diversidade de tecnologias utilizadas para criar este projecto, a integração dos sistemas requer algum trabalho de configuração antes de se proceder ao tratamento dos dados. Numa primeira abordagem, é importante referir que são utilizadas diversas linguagens de programação. Uma delas é a *Arduino Programming Language*, que se trata de uma linguagem de programação baseada em C/C++ e que oferece bibliotecas que simplificam alguns aspectos ao programador, acima de tudo porque este produto foi desenhado para utilizadores básicos poderem explorar as potencialidades que o Arduino UNO oferece (Evans, 2011). Efectivamente, a escolha desta placa deveu-se ao facto de existirem inúmeras bibliotecas para a configuração do módulo Wi-Fi, por se tratar de uma placa de dimensões suficientemente reduzidas, ser de preço acessível e também devido ao facto de possuir conectividade USB para criar ligações Serial. Caso a escolha tivesse recaído na utilização de um simples microcontrolador, seria necessário a obtenção de *hardware* que permitisse criar uma ligação Serial com um computador e o facto da não existência de bibliotecas que pudessem ser reutilizadas, iriam tornar maior a complexidade da realização deste projecto.

A configuração do módulo Wi-Fi é feita através de linhas de comando interpretadas pelo Microchip RN-171-XV, e para criar uma ligação entre cliente e servidor, teremos à disposição os protocolos TCP/IP que estão incorporados no módulo. Basicamente, o protocolo TCP é um protocolo do nível da camada de transporte e que oferece serviços orientados à ligação que permite que uma sequência de bytes originada numa máquina seja entregue a outra máquina sem erros (Tanenbaum, 2010).

O outro programa desenvolvido para a conclusão do projecto, e que se comportará como servidor na comunicação entre dispositivos, é desenvolvido em linguagem JAVA e na plataforma *NetBeans* IDE. Esta linguagem é sobejamente conhecida pelas vantagens de integração de sistemas, pelo facto de poder correr nas máquinas sem que a barreira de linguagem de programação seja um grande obstáculo, porque possui uma extensa biblioteca de rotinas que facilitam a utilização de protocolos TCP/IP e pela possibilidade de eventualmente poder recorrer a “web services”, caso fosse considerado uma opção relevante para este projecto.

3.4.1 Programa para Arduino UNO

Nesta secção descrevem-se as rotinas feitas para coordenar o funcionamento da placa Arduino UNO.

É importante referir que os programas desenvolvidos para o Arduino UNO são compostos essencialmente por duas funções principais: a função `setup()` que corre apenas uma vez quando o dispositivo é ligado, e a função `loop()`, que tal como o nome indica, irá correr num ciclo infinito. O comportamento programado nestas funções encontra-se descrito abaixo.

- **Função `setup()`**

Assim, numa primeira abordagem o módulo tem que ser configurado para se ligar à rede local na qual o servidor também está ligado, tendo em conta o tipo de rede em questão e todos os parâmetros importantes para a configuração do módulo.

O código desenvolvido para o Arduino UNO, referente a esta parte, é então executado assim que o dispositivo é ligado e corre na função `setup()`. Também nesta função as mensagens de controlo criadas, que permitem verificar se os comandos são executados correctamente, são impressas no monitor Serial da ligação entre o Arduino e o computador.

- **Função `loop()`**

Será então na função `loop()` que são executados os comandos de maior interesse, conforme se pode verificar no Anexo 3. O código escrito para esta função começa por verificar se está estabelecida alguma ligação, caso não esteja, será executado um comando que tentará criar uma ligação com o servidor através do seu endereço e porto para o qual serão encaminhadas as mensagens. Serão imprimidas no monitor Serial, mensagens indicativas do estado de execução dos comandos. Se a ligação se estabelecer com sucesso, é avaliado através de uma variável de controlo se já foi enviada uma mensagem, caso isso não se verifique, é executada uma função que devolve uma “String” com os valores medidos de tensão e de corrente pelos sensores, função essa que será descrita posteriormente com mais detalhe. Depois de obtida essa “String”, esta é convertida para um formato que permita enviar o seu conteúdo como uma mensagem pela ligação estabelecida, e é portanto finalmente enviada a mensagem e alterado o valor da variável de controlo que indica que já foi enviada a mensagem. O programa fica então à espera de receber uma resposta do servidor. Assim que é recebida a mensagem, esta é armazenada e é reinicializado o valor da variável de controlo. Seguidamente é comparado o valor da mensagem, caso a mensagem venha com o valor “1”, a porta de *output* digital 4 do Arduino é activada, alterando o circuito do sistema físico. No entanto, se não for esse o valor recebido, a porta é desactivada. Finalmente a ligação com o servidor é fechada e é executado um pequeno período de espera antes de terminar o `loop()`. É

de referir que neste caso, o Arduino UNO comporta-se como o cliente de uma ligação do tipo Cliente-Servidor.

- **Função `prepareDataToSend()`**

A execução desta função tem por objectivo a recolha dos dados vindos dos sensores, e a conversão dos valores analógicos medidos em valores digitais, para as unidades de tensão e corrente.

Esta função, que está disponível no Anexo 3, começa por armazenar os valores lidos nas portas analógicas em que estão ligados, sendo que as portas fazem leituras com 10 bits de resolução, ou seja irá devolver um valor entre 0 e 1023 sendo que o valor 0 corresponde a 0V e o valor 1023 corresponde a 5V (Evans, 2011). Tendo isso em conta, verifica-se então a necessidade de fazer a conversão do valor lido para as unidades pretendidas. No caso da tensão, a operação seria praticamente directa utilizando a regra de três simples, sendo que, considerando X como o valor de tensão medido em Volts, tem-se que:

$$X = \frac{\text{analogRead}(A1) * 4.84V}{1023} \quad (3.5)$$

É utilizado o valor 4.84V pois ao medir a diferença de potencial entre o pin de 5V e o GND do Arduino UNO, o valor medido é de 4.84V ao invés dos 5V previamente referidos.

Como o valor de tensão medido teve que ser submetido pela passagem de um divisor de tensão, outra operação se impõe para determinar o valor pretendido, que é o de tensão produzida pelo painel fotovoltaico. Deste modo, tendo em conta que T representa este mesmo valor e também o valor Vin referenciado no divisor de tensão, temos que:

$$T = \frac{R1 + R2}{R2} \times X \quad (3.6)$$

Substituindo R1 e R2 de (3.6) pelos valores calculados anteriormente, vem finalmente:

$$T = \frac{3.54}{1.08} \times X \quad (3.7)$$

Já no que toca à corrente, a conversão não será tão directa, pois o valor lido no *pin* analógico é referente a um valor de tensão que, por sua vez, é gerado no sensor de corrente e é relativo ao valor de corrente do circuito principal. É importante referir que o sensor, quando não passa corrente no circuito, emite um sinal com uma tensão de 2.5V e mede valores entre os -30A e 30A.

Neste caso também temos que fazer a conversão do valor medido, que será um valor entre 0 e 1023, relacionados com os valores 0V e 5V respectivamente, para o valor de tensão à

saída do sensor de corrente. Fazendo uma regra de três simples e considerando Y como o valor de tensão à entrada do pin analógico A0, temos que:

$$Y = \frac{\text{analogRead}(A0) * 4.84V}{1023} \quad (3.8)$$

Mais uma vez, o valor de tensão utilizado é 4.84V pelo motivo referido anteriormente. O valor desta operação é, tal como referido acima, sujeito a um *offset*, pelo que para obter-se o valor de tensão sem *offset* terá que se efectuar uma subtracção do valor que representa 0A, assim vem:

$$Y' = Y - 2.5V \quad (3.9)$$

Finalmente, o valor que relaciona o valor de tensão com a corrente é o valor da sensibilidade do sensor de corrente, sendo este de 0.066V/A. Assim, para obter-se o valor de corrente, e tomando C como o valor de corrente, fazemos:

$$C = \frac{Y'}{0.066V/A} \quad (3.10)$$

Todo este processo permite-nos converter os valores de tensão e corrente medidos às unidades pretendidas. Estas medições são repetidas, assim como todo este processo de conversão, durante um intervalo de tempo estabelecido, neste caso 10 segundos. No final é feita a média dos valores medidos, de forma a poder-se eliminar algum erro de medição espontâneo.

Por último, os valores são adicionados a uma “String” com um determinado formato, que será devolvida pela função e imprimida no monitor Serial.

3.4.2 Programa para o Servidor

A finalidade do programa desenvolvido nesta plataforma é a de actuar como um servidor. Este começa por receber os dados provenientes do cliente e armazená-los, neste caso num ficheiro de texto de extensão txt. Depois, os dados são tratados de forma a poder obter-se os valores de potência instantânea produzidos ao longo do tempo, e é produzido um histórico com esses valores. Estes valores são então processados de modo a obter-se a potência média produzida às diferentes horas do dia, o que permite de alguma maneira prever que potência teremos a determinadas horas do dia, de forma a permitir tomar uma decisão sobre que cargas podem ser activadas a essas horas.

O software desenvolvido divide-se em três classes, sendo elas DSM_Project, Server e DSM_lib, conforme ilustrado no diagrama de classes presente na Figura 3.4.

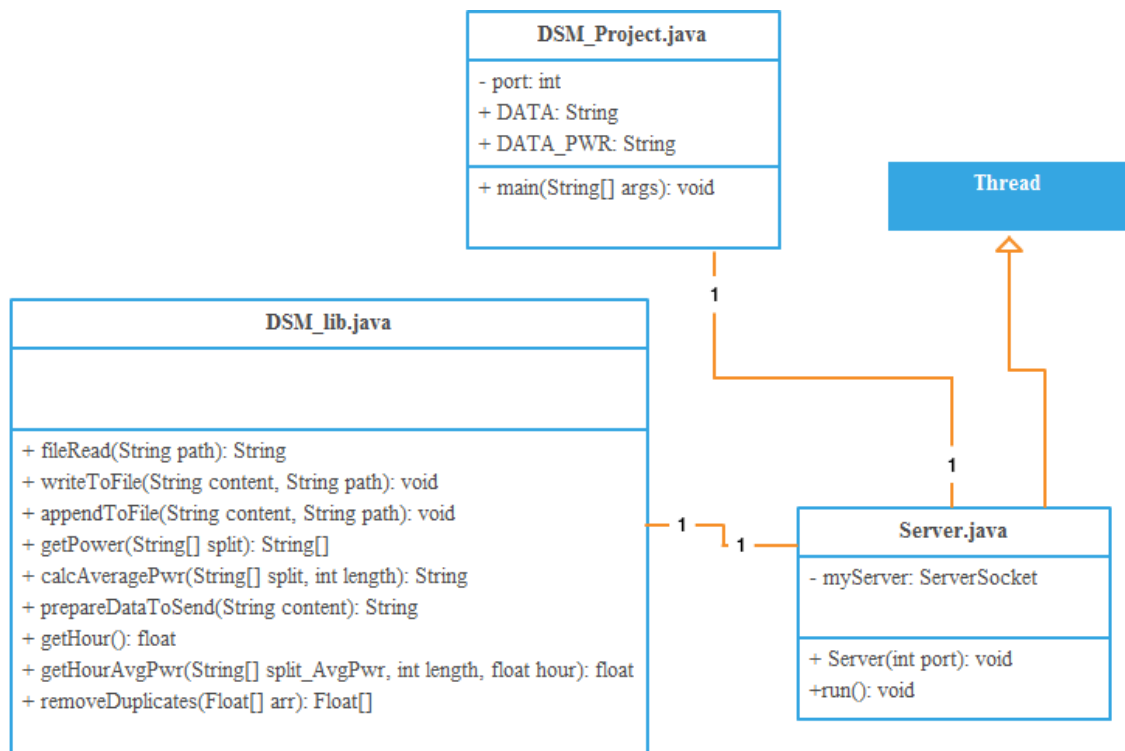


Figura 3.4 Diagrama de classes do *software* para o Servidor.

- **Função DSM_Project.main()**

DSM_Project é a classe principal do projecto, na qual está presente a função main(). É nesta função que são definidos o porto a utilizar e o endereço dos ficheiros de armazenamento dos dados. A função main() limita-se a criar um objecto do tipo “Server”, e também criar um servidor com o porto para troca de dados já definido nesta classe principal.

- **Função Server.Server(int port)**

A função recebe como variável de entrada um porto, cria um “ServerSocket” com o porto de entrada e procede a execução da função run() da “Socket” TCP criada.

- **Função Server.run()**

É nesta função que é executado o código que permite ao servidor receber e tratar os dados, conforme descrito antes.

Esta função é executada num ciclo infinito e começa por pôr o servidor à escuta no porto definido, para esperar que um cliente tente criar uma ligação. Assim que uma ligação é criada, é imprimida uma mensagem que indica que a conexão foi estabelecida e também o endereço do cliente que se ligou. De seguida, são criadas as variáveis que permitem guardar as sequências de bytes transmitidas e as mensagens por enviar. As mensagens recebidas são

então lidas. Se a mensagem é lida com sucesso, então os valores recebidos são colocados no fim do ficheiro de histórico, juntamente com a data e hora em que estes elementos são adicionados. Depois disso, o ficheiro de histórico é lido e os dados aí presentes são armazenados numa variável, para de seguida se poder calcular, através de uma função e a partir dos valores de tensão e corrente armazenados, a potência gerada para cada instante. Já em posse dos valores de potência, é então gerado um novo ficheiro de texto que irá armazenar, para além dos dados presentes no ficheiro de histórico, os valores de potência para cada instância. Por fim, é calculada a média de potência gerada nos dias anteriores, àquela hora, e analisada a potência gerada naquele instante. De seguida, é analisado se a potência disponível é suficiente para activar a carga, e se o for, o conteúdo da mensagem a enviar será “1”, senão armazenará o valor “0”. No final da função, é enviada a mensagem ao cliente. O código relativo à comunicação com o cliente está disponível no Anexo 4.

- **Função `DSM_lib.fileRead(String path)`**

O código desta função começa por criar variáveis que permitam ler a informação proveniente de um ficheiro de texto, que está localizado na localização definida na variável “path”. Os dados são lidos linha a linha e armazenados numa “String”, até chegar ao fim do ficheiro. No final, devolve a “String” com o conteúdo do ficheiro, ou caso não encontre o ficheiro, imprime uma mensagem de erro.

- **Função `DSM_lib.writeToFile(String content, String path)`**

Esta função tem por objectivo escrever num ficheiro no endereço “path” e com o conteúdo “content”. Caso o ficheiro não exista, este será criado. De seguida é criada uma variável que permita escrever no ficheiro o conteúdo pretendido. Depois da ordem de escrita e de a escrita estar finalizada, é escrita uma mensagem que indica o fim da escrita do ficheiro.

- **Função `DSM_lib.appendToFile(String content, String path)`**

Esta função recebe como parâmetros de entrada o conteúdo de uma mensagem a escrever num ficheiro, na “String content”, e o caminho onde está o ficheiro para onde se quer escrever na “String path”. O código desta função limita-se a escrever no fim de um ficheiro armazenado no endereço “path” o conteúdo da “String content”.

- **Função `DSM_lib.getPower(String[] split)`**

O parâmetro de entrada desta função é um vector de “Strings” e esta devolve também um vector de “Strings”. Inicialmente, é guardado numa variável o tamanho do vector recebido pela função, de seguida, é percorrido o vector de forma a calcular, para cada linha de dados, o produto do valor da tensão com o valor da corrente para obter-se o valor da potência para cada instante das medições. Estes valores são armazenados numa “String” e separados por um

espaço. De seguida, os valores de potência são separados e armazenados num vector de “Strings” e esse mesmo vector é devolvido pela função. Esta está disponibilizada no Anexo 4.

- **Função DSM_lib.calcAveragePwr(String[] split, int length)**

Está disponível no Anexo 4 e tem como parâmetros de entrada um vector de “Strings” e um inteiro com o tamanho do vector. Em primeiro lugar, é inicializado um contador e um vector de “floats” com duas vezes o tamanho do número de medições feitas e armazenadas no ficheiro. De seguida, cada linha referente a cada medição num determinado instante, são comparadas a todas as linhas e caso o mês, ano e hora sejam iguais, os valores de potência são somados e guardados no vector de “floats” criado, para depois esses valores serem divididos pelo número de vezes em que as condições se verificaram, valor esse que está guardado no contador, que foi sendo incrementado. Assim, temos a média de potência gerada para uma determinada hora de um determinado mês de um ano. Logo na posição seguinte à posição em que em que foi armazenada a média de potência, é também armazenada a hora associada a essa média de potência. O vector estará no final preenchido com as médias de potência e as diferentes horas a que se referem. No final esses valores são guardados numa “String” que é devolvida por esta função.

- **Função DSM_lib.prepareDataToSave(String content)**

Esta função tem como parâmetro de entrada uma “String”. O que esta função faz é verificar a data e hora actual, criar uma nova “String” constituída pela “String” de entrada e a hora e data actual. A “String” criada é finalmente devolvida pela função.

- **Função DSM_lib.getHour()**

A função verifica qual a hora actual e devolve este mesmo valor.

- **Função DSM_lib.getHourAvgPwr(String[] split_AvgPwr,int length,float hour)**

Os parâmetros de entrada da função são um vector de “Strings”, que será o vector com os valores de potência média e as horas correspondentes, uma variável do tipo inteiro, o tamanho do vector, e uma do tipo “float”, a hora actual. As posições ímpares, das horas, do vector de “Strings” são percorridas e comparadas com a hora actual. Caso a hora seja encontrada, a função pára de percorrer o vector e a função devolve o valor da posição anterior, correspondente à potência média, senão devolve “0”. O código referente a esta função está disponível no Anexo 4.

4. Teste e validação

Após a montagem do circuito físico assim como o desenvolvimento das aplicações de *software* referidas no capítulo anterior, é finalmente possível visualizar o funcionamento do sistema e os resultados obtidos do mesmo. Adicionalmente, ao longo deste capítulo, verificaremos que o sistema desenvolvido satisfaz os requisitos estabelecidos para esta infraestrutura de gestão de energia eléctrica que foi desenvolvida ao longo deste projecto.

4.1 Sistema físico

O aspecto final do sistema físico desenvolvido está ilustrado na Figura 4.1.

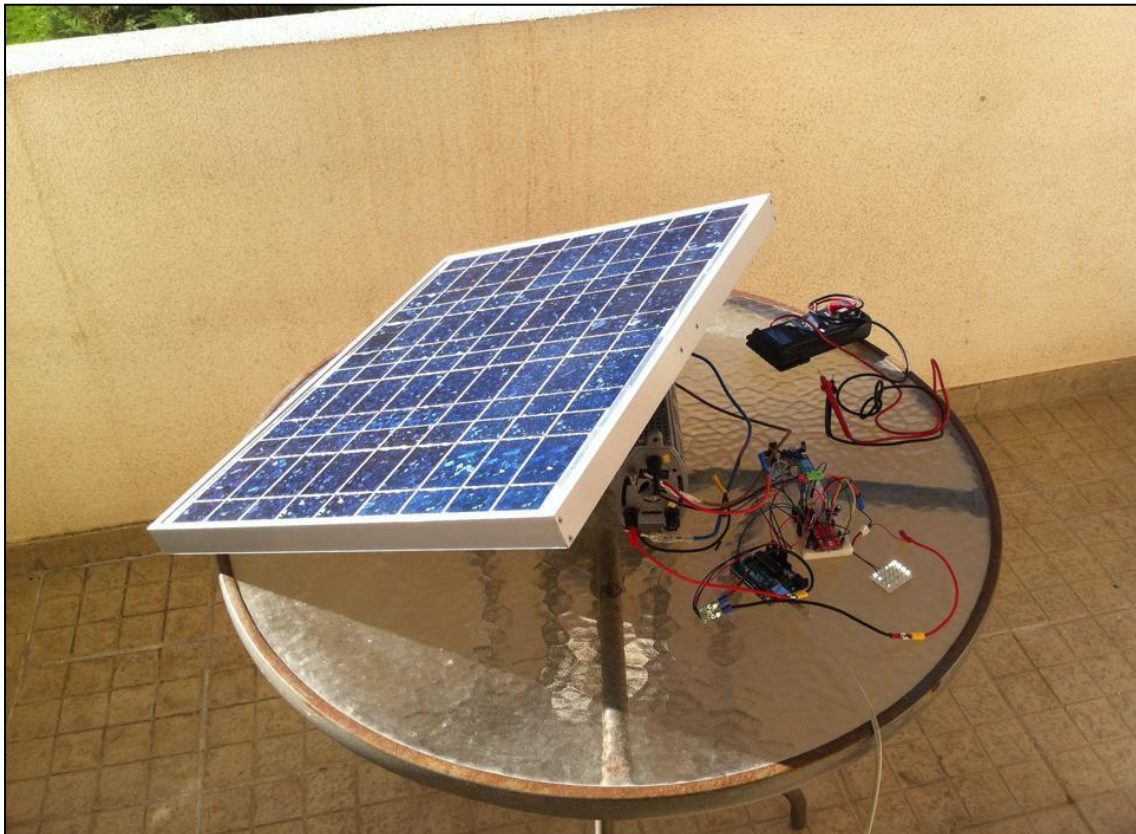


Figura 4.1 Sistema físico em funcionamento.

Conforme é possível observar neste caso temos uma carga activa, sendo ela o sistema de iluminação que está ligado.

Em maior pormenor podemos observar as ligações entre o Arduino e o módulo *wireless* na Figura 4.2, assim como as portas de *input* analógico e digitais usadas.

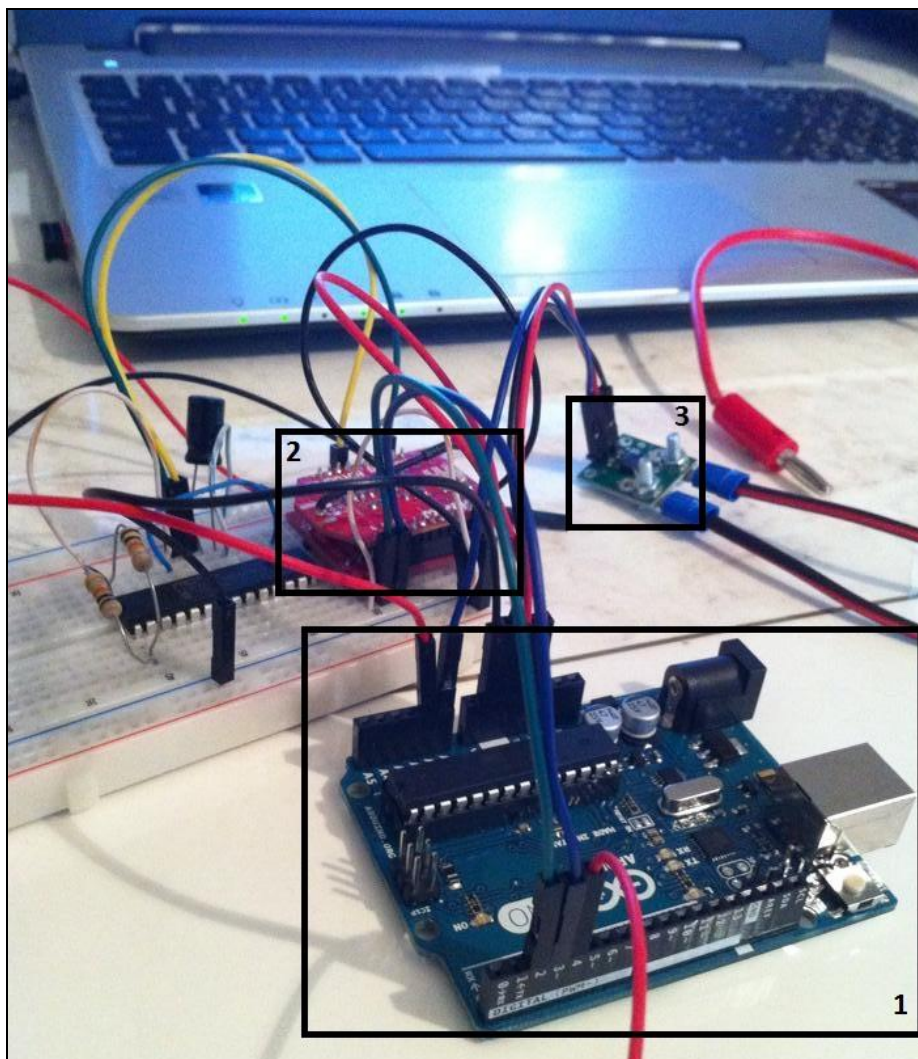


Figura 4.2 Módulo RN-XV, Arduino UNO e ligações efectuadas.

Os dispositivos que são possíveis identificar na figura são o Arduino UNO, caixa 1, o módulo “wireless” Microchip RN-171-XV, caixa 2, e o pequeno dispositivo electrónico, caixa 3, trata-se do sensor de corrente ACS714. A ligação que permite a comunicação entre o Arduino e módulo “wireless” é feita através dos fios verde e azul ligados aos pins digitais 2 e 3 do Arduino, sendo que estes são definidos como sendo o Tx e Rx e estão assim ligados ao Rx e Tx do módulo “wireless”. O fio ligado no *pin* 4 está ligado ao *relay* e é o responsável por activar ou não o circuito com a carga. Ainda nesta figura, é possível observar as portas de *input* analógicas da placa Arduino, nas quais estão ligados um fio vermelho e um fio azul. O fio vermelho vai ligar-se ao sensor de tensão, o divisor de tensão. Finalmente e observando com mais atenção, verificamos que o fio azul está ligado ao sensor de corrente. É através dos sinais analógicos enviados para esses *pins* que são feitas as leituras de tensão e corrente, respectivamente.

4.2 Plataforma de gestão

Após o desenvolvimento das aplicações de *software*, é possível verificar o comportamento das mesmas, tanto do lado do cliente como do servidor.

4.2.1 Cliente

O comportamento do cliente, quando os dispositivos são ligados, está ilustrado na Figura 4.3.

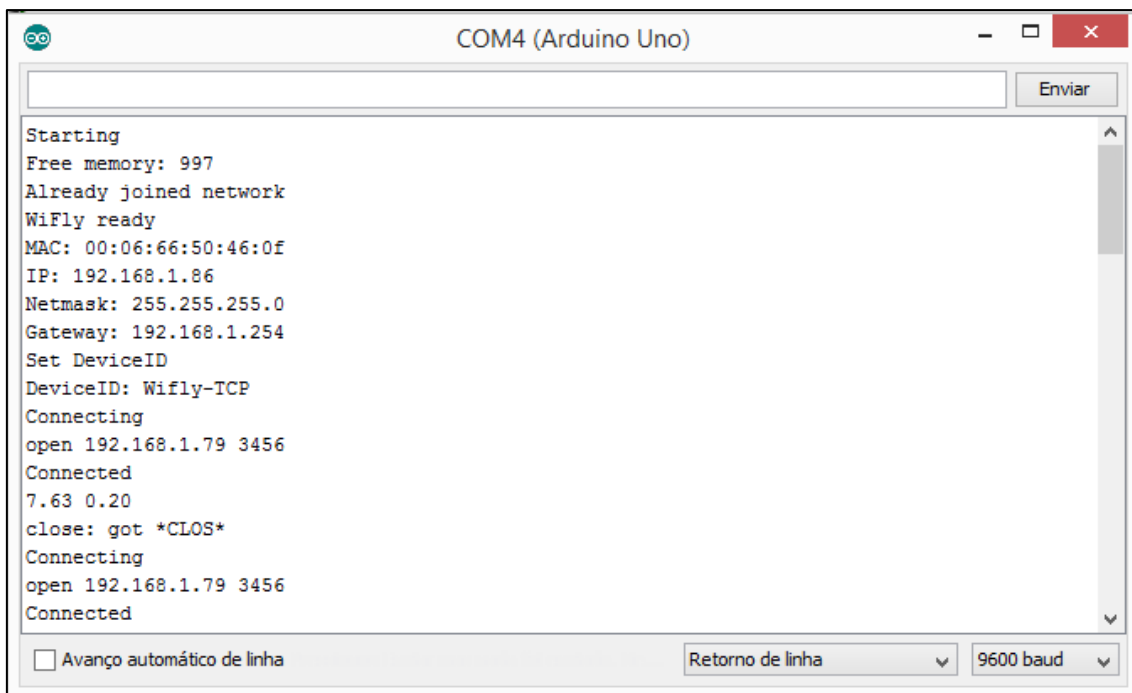


Figura 4.3 Mensagens lidas a partir do cliente quando ligação é efectuada com sucesso.

Inicialmente, o *software* desenvolvido indica que a placa está a ser inicializada. De seguida, é feita uma tentativa de ligação à rede local especificada no código e se for bem sucedido, são imprimidas as mensagens acerca do seu endereço na rede. Depois de todo este processo de ligação à rede, o dispositivo tenta criar uma ligação TCP com o servidor utilizando o endereço “192.168.1.79 3456”, é indicado se a ligação é estabelecida com sucesso, e depois disso, imprimidos os valores de tensão e corrente medidos, que neste caso são “7.63 0.20” e corresponde à mensagem que é enviada ao servidor. Finalmente, e após a recepção da resposta do servidor, a ligação é fechada e o cliente volta a tentar criar uma nova ligação, repetindo os passos seguintes à criação da ligação.

Caso o cliente não consiga ligar-se ao servidor, o cliente tenta criar sucessivamente ligações até ser bem sucedido, como se pode verificar na Figura 4.4.

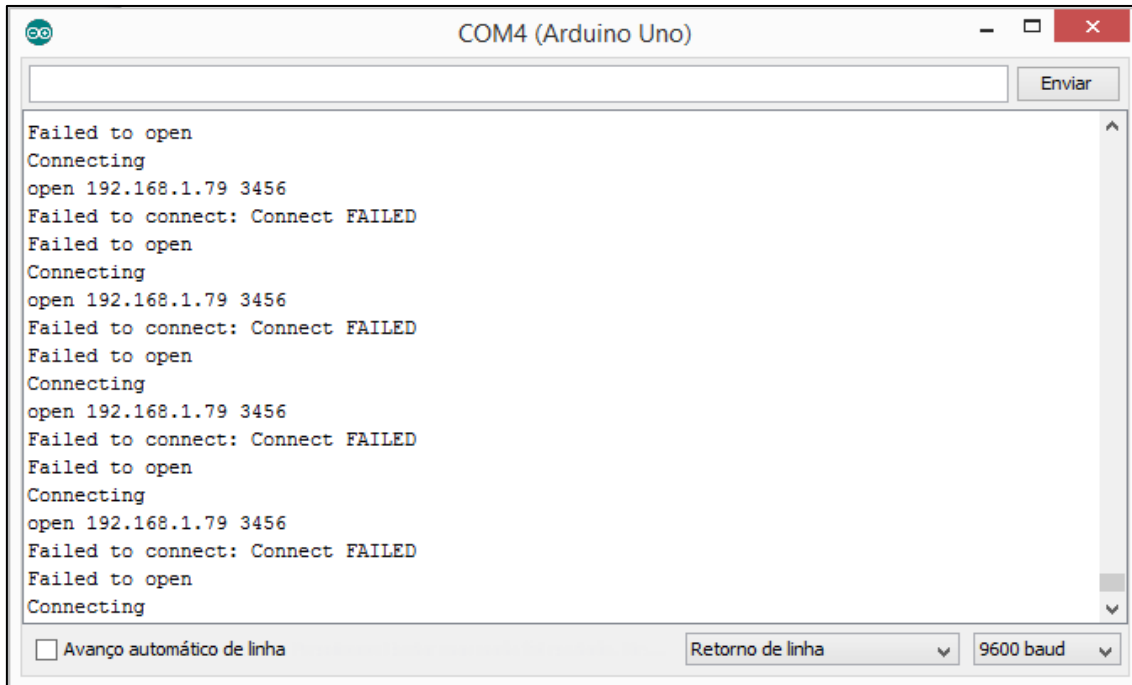
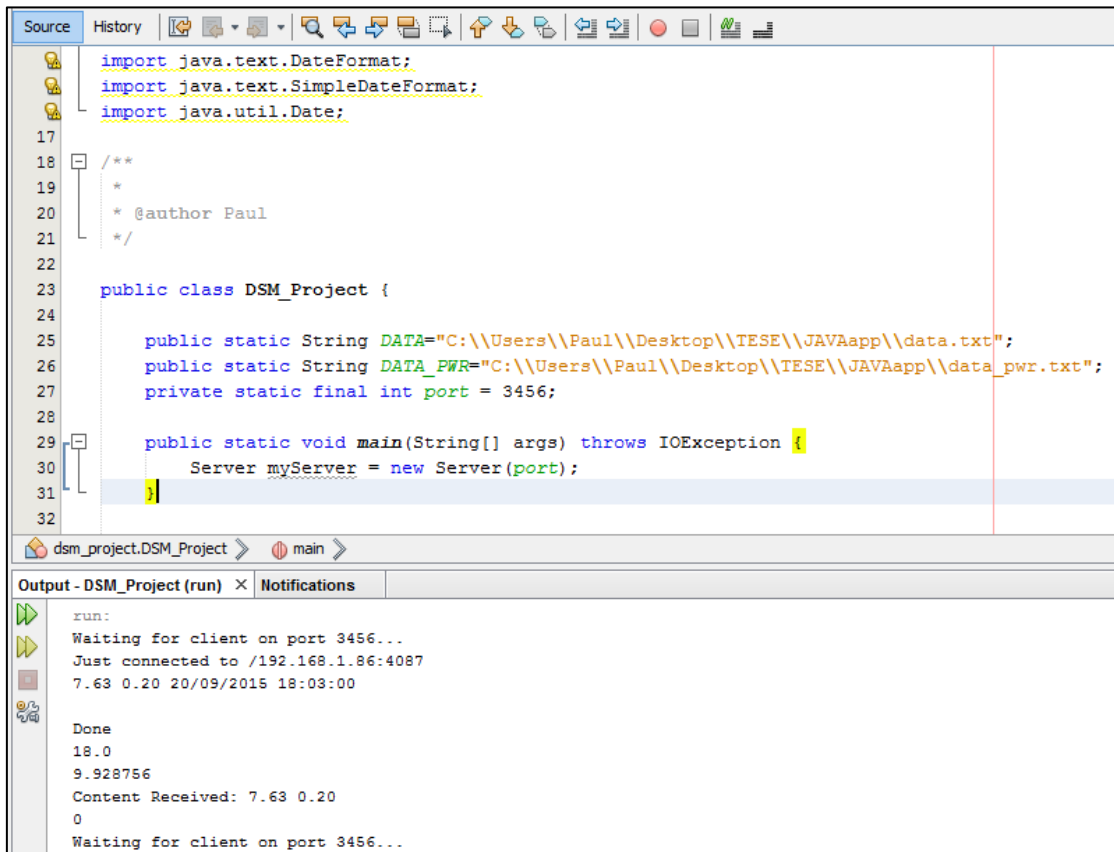


Figura 4.4 Mensagens lidas a partir do cliente quando ligação não é efectuada com sucesso.

4.2.1 Servidor

Nesta secção é ilustrado o funcionamento do servidor desenvolvido neste projecto, cujo o respetivo código-fonte encontra-se ilustrado Figura 4.5.



```
Source History
import java.text.DateFormat;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Date;

17
18 /**
19  *
20  * @author Paul
21  */
22
23 public class DSM_Project {
24
25     public static String DATA="C:\\Users\\Paul\\Desktop\\TESE\\JAVAapp\\data.txt";
26     public static String DATA_PWR="C:\\Users\\Paul\\Desktop\\TESE\\JAVAapp\\data_pwr.txt";
27     private static final int port = 3456;
28
29     public static void main(String[] args) throws IOException {
30         Server myServer = new Server(port);
31     }
32
Output - DSM_Project (run) x Notifications
run:
Waiting for client on port 3456...
Just connected to /192.168.1.86:4087
7.63 0.20 20/09/2015 18:03:00

Done
18.0
9.928756
Content Received: 7.63 0.20
0
Waiting for client on port 3456...
```

Figura 4.5 Mensagens lidas do lado do servidor quando ligação é efectuada com sucesso.

Aquando da colocação em funcionamento, o servidor começa por ficar à espera que um cliente se ligue no porto definido previamente. Assim que um cliente consegue criar uma ligação com o servidor, é imprimida uma mensagem indicativa com o endereço do cliente. De seguida, é imprimida a mensagem recebida assim como a data e hora em que é recebida a mensagem. Estes dados são armazenados num ficheiro, e, se for bem sucedido é imprimida a mensagem “Done”. Depois disso, é possível ler no ecrã a hora actual seguida da média de potência a essa mesma hora. Por fim, é escrito o conteúdo recebido e a mensagem a enviar após ser analisado se a carga pode ser ou não activada, sendo que neste caso o resultado é “0” e a carga não será activada. Terminado todo este processo, o servidor volta a ficar à escuta de novas ligações.

4.3 Optimização do autoconsumo

Esta secção começa por ilustrar os dados armazenados, o cálculo da potência média a cada hora e por fim é traçado um perfil de produção de energia.

4.3.1 Histórico de medições

Através da Figura 4.6, é possível visualizar a informação armazenada no ficheiro de texto em que são escritas as medições provenientes do cliente.

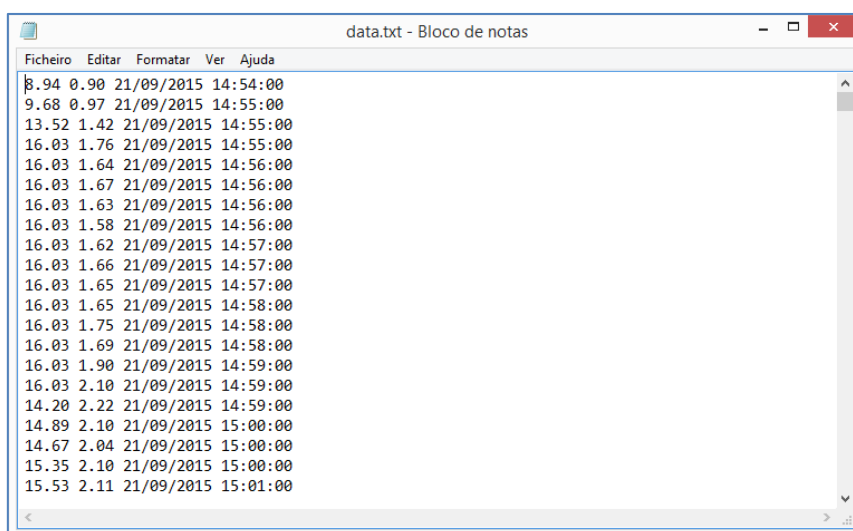


Figura 4.6 Ficheiro com os dados enviados pelo cliente.

Seguidamente, após o cálculo das potências instantâneas com recurso aos dados do ficheiro acima ilustrado, é então gerado um novo documento de texto que apresentará a informação presente na Figura 4.7 e disponível no Anexo 1, e cujo último valor se trata precisamente da potência.

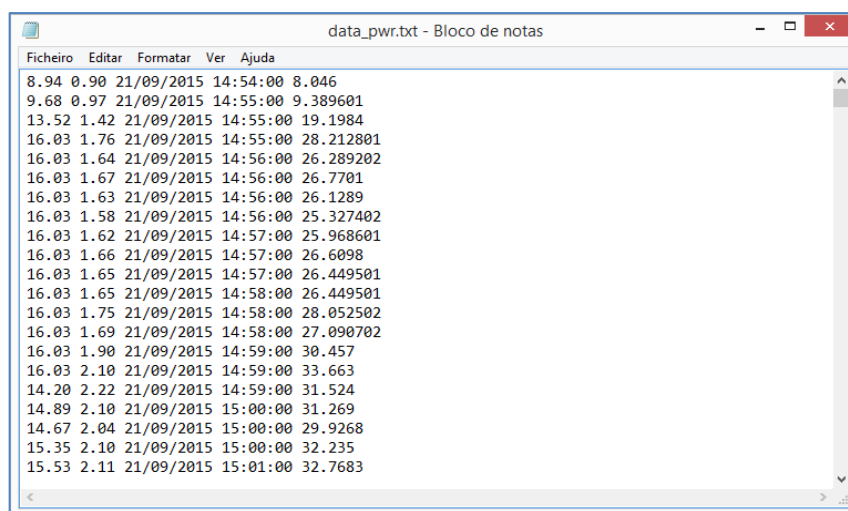


Figura 4.7 Ficheiro com os dados recebidos pelo cliente e os valores de potência calculados.

4.3.2 Média de potência por hora

Seguidamente e já em posse dos dados ilustrados na secção 4.3.1, a aplicação de software desenvolvida calcula finalmente os dados de potência média por hora. Os valores calculados pela aplicação encontram-se tabelados abaixo.

Hora (h)	Média de potência por hora (W)
9	0.10
10	1.09
11	19.98
12	26.07
13	28.26
14	24.57
15	31.89
16	29.00
17	19.42
18	6.74
19	0.02

Tabela 4.1 Valores de potência média por hora.

É possível verificar que praticamente não se produziu energia entre as 9h e as 11h. Isto deve-se ao facto de a localização do painel se encontrar à sombra a estas horas do dia. Nas horas restantes do dia não foram efectuadas medições pois os resultados esperados rondarão sempre os 0W.

4.3.3 Perfil de produção do sistema

A partir desta informação é finalmente possível traçar um gráfico que representa um perfil de produção de energia ao longo de um dia como podemos ver na Figura 4.8.

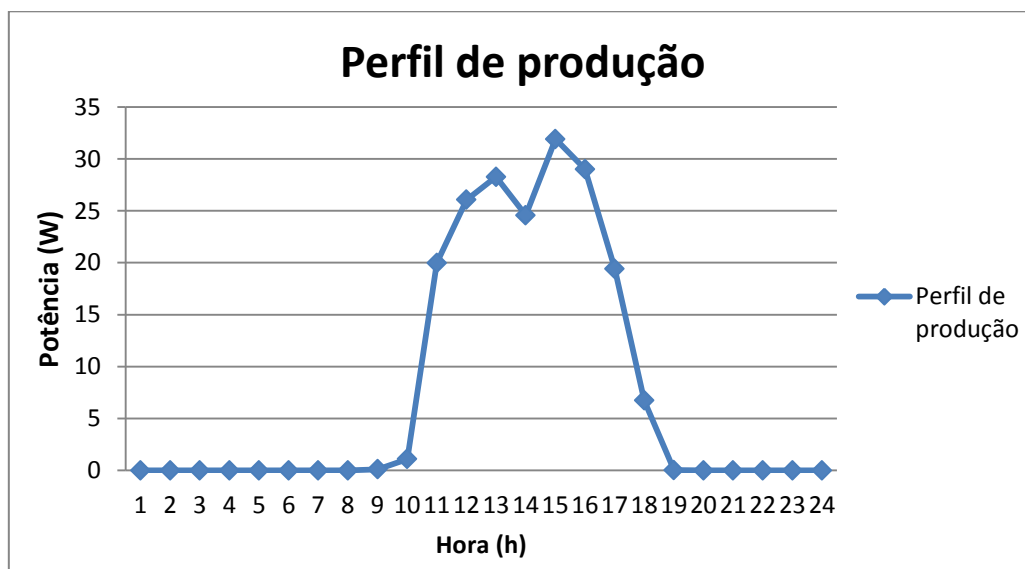


Figura 4.8 Perfil de produção de energia durante um dia de verão.

Conforme é possível verificar, os maiores picos de energia produzida são verificados nas horas de maior radiação solar, como era de esperar. Estes dados foram recolhidos durante um dia de céu limpo na maior parte do tempo. No entanto, verificamos que antes das 15h a energia produzida sofre uma quebra. Isto deve-se à localização do painel solar, pois este encontra-se numa varanda de um prédio e desta forma a sombra produzida pelo prédio não permitiu que se recolhessem amostras de maior qualidade. Apesar disso, verificamos que nas horas em que o sol começou a irradiar directamente para o painel, por volta das 15h, atingimos o nosso maior pico de produção de energia num valor médio que ronda os 32W. Tal como esperado, esse valor foi diminuindo ao longo do tempo.

4.3.4 Teste de activação da carga

No servidor, após serem realizados os passos anteriormente explicitados, é de seguida feita a decisão quanto à activação da carga ou não. Assumindo que a carga introduzida necessita de 15W para ser activada, são então cruzados os dados de forma a retirar em que horas do dia é que será activada a carga.

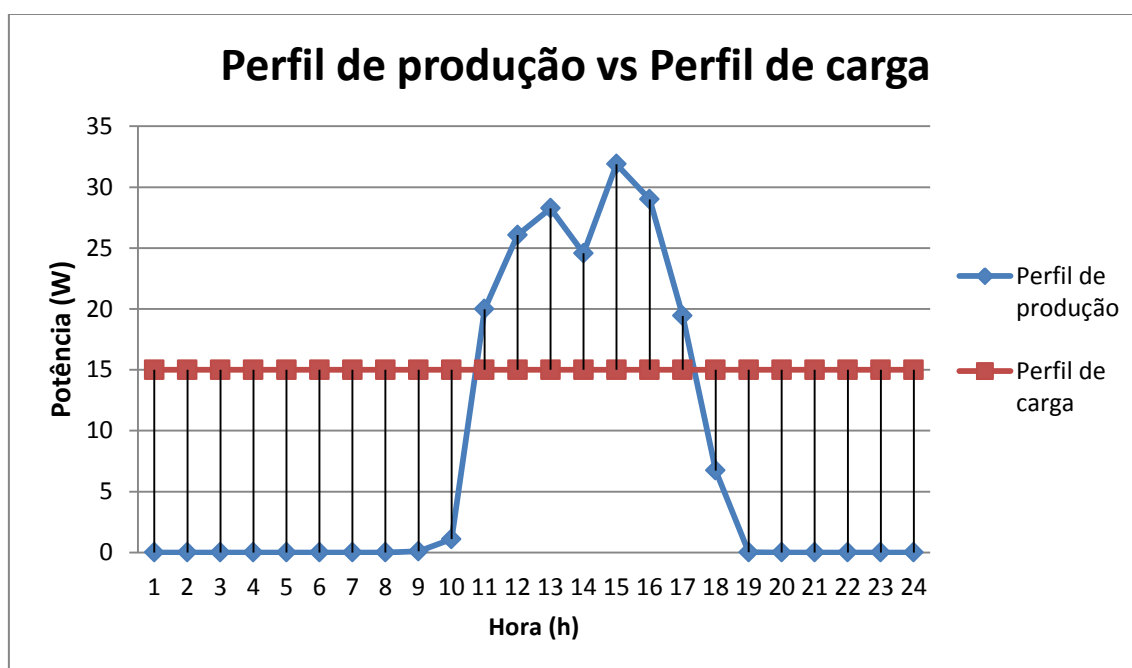


Figura 4.9 Perfil de produção de energia e perfil de consumo de uma determinada carga.

Assim, considerando que o pedido de activação da carga é constante ao longo do tempo, é agora possível verificar visualmente as horas em que a carga é activada. Isto acontece nas horas em que o perfil de produção é superior ao perfil de carga, ou seja, sempre que o ponto vermelho está abaixo do ponto azul. Logo, o servidor enviará uma mensagem com o valor de “1” entre as 11h e as 18h, e enviará a mensagem “0” ao cliente nas restantes horas do dia.

5. Conclusões e trabalho futuro

Concluído o trabalho e já em posse dos resultados é importante fazer uma análise e reflexão ao que foi efectuado, assim como apontar a outras metas que possam ser atingidas no âmbito deste tema de dissertação.

5.1 Síntese do trabalho efectuado

Com a legislação que regula o autoconsumo em Portugal e devido ao facto de estarmos cada vez mais perto de atingir a paridade da rede no nosso país, estes sistemas ganham cada vez mais interesse para os consumidores portugueses.

Este projecto envolveu uma exploração do paradigma de geração de energia para autoconsumo e conceitos relacionados, que foi efectuado durante o levantamento do estado da arte. Posteriormente, passou-se para a especificação e desenvolvimento da infra-estrutura de geração e sistema de gestão para autoconsumo. Um passo preliminar foi a formulação dos requisitos funcionais e a esquematização duma arquitectura adequada para satisfazer esses requisitos. Essa arquitectura é composta por duas partes: a física e a de gestão.

Aquando do desenvolvimento do sistema de gestão para autoconsumo, foi desenvolvido um projecto que permite de uma forma simples e económica, melhorar os níveis do autoconsumo, através da implementação de um sistema que permite não só a monitorização remota da energia produzida, a partir de uma plataforma informática, como também a possibilidade de gerir as cargas de forma remota, através da análise de um perfil de produção de energia e da potência consumida por uma determinada carga.

As medições de corrente assim como as da tensão, foram medidas correctamente e os dados foram entregues com sucesso ao servidor de forma remota. Foi também possível verificar que os históricos são gerados correctamente e com os dados pretendidos. Finalmente, foi calculada a potência média gerada para cada hora e a partir desses dados foi possível criar um perfil de produção. Este permitiu-nos ter uma ideia da energia que teremos disponível às diferentes horas do dia e assim planear quando activar as cargas que pretendemos. Neste trabalho, foi feita através da comparação da potência necessária para activar uma carga e a potência disponível a uma determinada hora, o teste de activação dessa mesma carga, com recurso a uma plataforma de gestão e através de comunicação remota. Os resultados corresponderam ao esperado e assim os objectivos predefinidos foram atingidos com sucesso.

A implementação da infra-estrutura e sistema de gestão revelou-se ser caracterizada pela presença de grandes desafios tecnológicos, mercê da utilização em simultâneo de electrónica de instrumentação, microcontroladores e várias linguagens de programação. Dada a utilização de distintas componentes que necessitavam de interagir de forma remota, foi necessário recorrer a técnicas de interoperabilidade que permitissem essa interacção remota. Um outro

constrangimento neste projecto foi a escassez de material e de fundos monetários que permitissem desenvolver um cenário de produção para autoconsumo mais real.

De qualquer forma, e apesar destas dificuldades, a fase seguinte do projecto permitiu constatar que os requisitos funcionais foram satisfeitos e que, com mais recursos, se poderiam desenvolver outras funcionalidades conforme descrito no trabalho futuro.

5.2 Trabalho Futuro

O trabalho desenvolvido permitiu criar uma plataforma que se pode revelar importante do ponto de vista dos utilizadores de sistemas de autoconsumo, no entanto seria interessante desenvolver algumas funcionalidades adicionais, por exemplo: implementar uma base de dados com ligação à Internet de forma a poder-se consultar, através da rede global os valores monitorizados. Também se poderia desenvolver uma aplicação que possa ser integrada em dispositivos móveis de modo a poder monitorizar e gerir as cargas a activar de forma remota, em qualquer local onde é possível aceder à Internet.

Outra ideia interessante seria integrar o acesso a um “web service”, que indique qual a previsão do clima, para poder antecipar os valores de potência gerados e desta forma introduzir esses dados na tomada de decisão da activação de cargas. Também poderia ser criada uma interface gráfica que permitisse adicionar, numa base de dados, a potência consumida pelas cargas presentes num sistema, assim como o seu tempo de funcionamento. Seria ainda pertinente desenvolver uma função que permita criar uma proposta sequencial de activação das cargas durante o dia, de forma a fazer o máximo aproveitamento da energia produzida, minimizando a energia pedida à RESP. Com o intuito de promover a optimização do autoconsumo também seria interessante desenvolver uma funcionalidade que com recurso a um motor, permitisse orientar o painel solar de forma a acompanhar a posição do sol.

Como nota final, é necessário referir que um aspecto relevante na geração de energia para autoconsumo, é o elevado período de retorno do investimento, que pode até ultrapassar 20 anos. Dado que o custo do equipamento de geração FV e de armazenamento têm vindo a reduzir-se, a geração de energia para autoconsumo tornar-se-á mais atractiva no futuro. Dados os avanços tecnológicos sucessivos, deverão também ser estudadas novas estratégias de utilização e gestão de autoconsumo. Acredita-se que um “driver” importante nesta tendência vão ser o aparecimento crescente das designadas “smart-grids” e, talvez com a mesma importância, as “smart-cities”.

Referências Bibliográficas

- Allegro MicroSystems, I. (2011). ACS714 - Automotive Grade, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor, 1–16. Retrieved June 23, 2015, from <http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS714.aspx>
- Alves, C. B. A. (2014). *Net metering : definição de metodologia e estudo de caso*. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- Arduino. (n.d.). Arduino/Genuino UNO Overview. Retrieved September 10, 2015, from <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- Castillo-Cagigal, M., Caamaño-Martín, E., Matallanas, E., Masa-Bote, D., Gutiérrez, a., Monasterio-Huelin, F., & Jiménez-Leube, J. (2011). PV self-consumption optimization with storage and Active DSM for the residential sector. *Solar Energy*, 85, 2338–2348. doi:10.1016/j.solener.2011.06.028
- Decreto de Lei 153/2014 de 20 de outubro. (2014). Diário da República n°202 - 1ª Série, 5298–5311.
- Elliston, B., MacGill, I., & Diesendorf, M. (2010). Grid parity: A potentially misleading concept. *Proc. Solar*, 1–11. Retrieved December 10, 2014, from <http://www.ies.unsw.edu.au/sites/all/files/GridParity.pdf>
- EPIA. (2013). Self Consumption of Pv Electricity. Retrieved December 10, 2014 from <http://docplayer.net/1086531-Self-consumption-of-pv-electricity-position-paper.html>
- ERSE, (2015), Retrieved September 21 , 2015, from <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>
- Evans, B. (2011). *Beginning Arduino Programming - Writing Code for the Most Popular Microcontroller Board in the World*. Apress.
- Futursolutions. (2015). Autoconsumo: a decisão volta a ser sua. Retrieved September 20, 2015, from <http://futursolutions.pt/energia/autoconsumo>
- Gelder, C. De. (2011). Installation manual - For the KC-Series of Solar Photovoltaic Power Modules. Retrieved June 23, 2015, from <http://www.kyocerasolar.com/assets/001/5155.pdf>
- Hauff, J., & Rendschmidt, D. (2011). Enabling the European Consumer To Generate Power for Self-Consumption, (November), 1–47. Retrieved December 9, 2014 from http://www.sunedison.com/wps/portal/memc/aboutus/newsroom/pressreleases/!ut/p/b1/hZLJbqtQEES_JR9gcQETYImZp8s8XDYIMIEwGoMx5uvjPGXzFCXpXUunS-qqwhlsxplhW9-rbHkfh6z73JPXIMRFQJBHXJGZEACVVXwQSDwgaPAE0H-AznwCQoDLGiRIkvjrPsJiDVGaUKm1JHrrfUQdFy9OeWu3W1PKx7g0kDO-QU
- Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings : A review. *Applied Energy*, 142, 80–94. doi:10.1016/j.apenergy.2014.12.028
- Pereira, P. (2015). *A produção fotovoltaica em Portugal - Análise da legislação em vigor e do custo/benefício*. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.

- Roving Networks, I. (2012). RN-171-XV 802 . 11 b / g Wireless LAN Module, 1–8. Retrieved June 22, 2015, from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-171-xv-ds-v1.04r.pdf>
- SMA. (2010). The self-consumption bonus. Retrieved December 10, 2014, from <http://www.sma.de/en/partners/knowledgebase/the-self-consumption-bonus.html>
- SMA. (2013). Commercial self-consumption of solar power. Retrieved December 10, 2014, from <http://www.sma.de/en/partners/knowledgebase/commercial-self-consumption-of-solar-power.html>
- SMA, SMA Solar UK Ltd, (2010), Retrieved September 10, 2015, from http://www.sma.de/fileadmin/_processed_/csm_Verbrauch_und_Erzeugung_01_007e32ccfe.jpg
- SMA2, SMA Solar UK Ltd, (2010), Retrieved September 10, 2015, from http://www.sma.de/fileadmin/_processed_/csm_Verbrauch_und_Erzeugung_01_007e32ccfe.jpg
- SMA3, SMA Solar UK Ltd, (2010), Retrieved September 10, 2015, from http://www.sma.de/fileadmin/_processed_/csm_Eigenverbrauchsquote_01_9eb510115a.jpg
- SMA4, SMA Solar UK Ltd, (2013), Retrieved September 10, 2015, from http://www.sma.de/fileadmin/_processed_/csm_Tagesprofil-Betrieb_EN_40f3be0b83.png
- SMA5, SMA Solar UK Ltd, (2013), Retrieved September 10, 2015, from http://www.sma.de/fileadmin/_processed_/csm_Abb.2_01_f4e798c796.jpg
- Tanenbaum, A. S. (2010). *Computer Networks. World Wide Web Internet And Web Information Systems* (5th ed.). Pearson. doi:10.1016/j.comnet.2008.04.002
- WIP - Renewable Energies. (2013). Pv Parity Project How To Support Different Photovoltaic Applications in the Achievement of Competitiveness and Beyond. Retrieved December 10, 2014, from http://www.pvparity.eu/fileadmin/PVParity_docs/public/PVParity_Final_Report.pdf
- Wixstatic, (2015), Retrieved September 10, 2015, from http://static.wixstatic.com/media/a925b0_6d5531f560de45b7b935703164375200.png_srz_p_593_501_75_22_0.50_1.20_0.00_png_srz
- Wohlmuth, T., Jetzinger, F., & Schmid, J. (2014). Optimizing self-consumption of grid-connected PV / storage systems. *Rehva Journal*, (May), 37–40.

Anexos

Anexo 1 – Dados armazenados entre as 15h e as 17h

14.89 2.10 21/09/2015 15:00:00 31.269
14.67 2.04 21/09/2015 15:00:00 29.9268
15.35 2.10 21/09/2015 15:00:00 32.235
15.53 2.11 21/09/2015 15:01:00 32.7683
15.48 2.11 21/09/2015 15:01:00 32.662796
15.69 2.13 21/09/2015 15:01:00 33.4197
15.70 2.18 21/09/2015 15:02:00 34.226
15.71 2.15 21/09/2015 15:02:00 33.7765
15.73 2.15 21/09/2015 15:02:00 33.8195
15.45 2.12 21/09/2015 15:08:00 32.753998
15.33 2.10 21/09/2015 15:08:00 32.192997
15.41 2.10 21/09/2015 15:09:00 32.361
15.29 2.09 21/09/2015 15:09:00 31.956099
14.87 2.03 21/09/2015 15:09:00 30.1861
15.17 2.08 21/09/2015 15:10:00 31.553598
15.49 2.12 21/09/2015 15:10:00 32.8388
15.11 2.06 21/09/2015 15:10:00 31.126598
14.20 1.94 21/09/2015 15:10:00 27.548
14.72 2.01 21/09/2015 15:11:00 29.5872
15.35 2.09 21/09/2015 15:11:00 32.0815
15.46 2.11 21/09/2015 15:13:00 32.620598
15.42 2.10 21/09/2015 15:13:00 32.382
15.43 2.12 21/09/2015 15:13:00 32.711597
15.46 2.12 21/09/2015 15:14:00 32.7752
15.41 2.10 21/09/2015 15:14:00 32.361
15.41 2.09 21/09/2015 15:14:00 32.206898
15.30 2.09 21/09/2015 15:15:00 31.977
15.41 2.12 21/09/2015 15:15:00 32.669197
15.30 2.10 21/09/2015 15:17:00 32.129997
15.31 2.11 21/09/2015 15:18:00 32.3041
15.32 2.07 21/09/2015 15:18:00 31.712399
15.34 2.12 21/09/2015 15:18:00 32.520798
15.33 2.10 21/09/2015 15:19:00 32.192997
15.32 2.12 21/09/2015 15:19:00 32.478397
15.32 2.08 21/09/2015 15:19:00 31.865599
15.31 2.08 21/09/2015 15:19:00 31.844799

15.31 2.09 21/09/2015 15:20:00 31.9979
15.24 2.09 21/09/2015 15:23:00 31.851599
15.26 2.06 21/09/2015 15:23:00 31.4356
15.29 2.07 21/09/2015 15:23:00 31.6503
15.27 2.08 21/09/2015 15:24:00 31.7616
15.29 2.10 21/09/2015 15:24:00 32.108997
15.29 2.09 21/09/2015 15:24:00 31.956099
15.29 2.09 21/09/2015 15:25:00 31.956099
15.27 2.08 21/09/2015 15:25:00 31.7616
15.26 2.07 21/09/2015 15:25:00 31.5882
15.30 2.09 21/09/2015 15:25:00 31.977
15.27 2.07 21/09/2015 15:26:00 31.6089
15.26 2.08 21/09/2015 15:26:00 31.740799
15.26 2.08 21/09/2015 15:26:00 31.740799
15.27 2.08 21/09/2015 15:27:00 31.7616
15.27 2.08 21/09/2015 15:27:00 31.7616
15.25 2.07 21/09/2015 15:27:00 31.5675
15.25 2.09 21/09/2015 15:28:00 31.8725
15.25 2.07 21/09/2015 15:28:00 31.5675
15.26 2.05 21/09/2015 15:28:00 31.282999
15.26 2.08 21/09/2015 15:29:00 31.740799
15.26 2.09 21/09/2015 15:29:00 31.893398
15.24 2.08 21/09/2015 15:29:00 31.699198
15.23 2.08 21/09/2015 15:30:00 31.678398
15.24 2.09 21/09/2015 15:31:00 31.851599
15.23 2.06 21/09/2015 15:31:00 31.373798
15.22 2.07 21/09/2015 15:31:00 31.5054
15.23 2.07 21/09/2015 15:32:00 31.526098
15.23 2.08 21/09/2015 15:32:00 31.678398
15.24 2.08 21/09/2015 15:32:00 31.699198
15.23 2.07 21/09/2015 15:32:00 31.526098
15.22 2.07 21/09/2015 15:33:00 31.5054
15.21 2.08 21/09/2015 15:33:00 31.636799
15.21 2.06 21/09/2015 15:33:00 31.3326
15.21 2.07 21/09/2015 15:34:00 31.4847
15.20 2.06 21/09/2015 15:36:00 31.311998
15.19 2.07 21/09/2015 15:36:00 31.443298
15.20 2.07 21/09/2015 15:36:00 31.463999
15.20 2.06 21/09/2015 15:37:00 31.311998
15.20 2.07 21/09/2015 15:37:00 31.463999

15.18 2.07 21/09/2015 15:37:00 31.4226
15.18 2.05 21/09/2015 15:38:00 31.119
15.19 2.06 21/09/2015 15:38:00 31.291399
15.19 2.09 21/09/2015 15:38:00 31.747097
15.18 2.09 21/09/2015 15:39:00 31.7262
15.19 2.07 21/09/2015 15:39:00 31.443298
15.73 2.06 21/09/2015 15:40:00 32.403797
15.62 2.05 21/09/2015 15:41:00 32.021
15.61 2.07 21/09/2015 15:41:00 32.3127
15.61 2.07 21/09/2015 15:41:00 32.3127
15.60 2.08 21/09/2015 15:42:00 32.447998
15.59 2.08 21/09/2015 15:42:00 32.4272
15.59 2.08 21/09/2015 15:42:00 32.4272
15.60 2.06 21/09/2015 15:43:00 32.136
15.60 2.06 21/09/2015 15:43:00 32.136
15.59 2.09 21/09/2015 15:43:00 32.5831
15.61 2.07 21/09/2015 15:44:00 32.3127
15.62 2.06 21/09/2015 15:44:00 32.1772
15.61 2.06 21/09/2015 15:44:00 32.156597
15.61 2.06 21/09/2015 15:44:00 32.156597
15.61 2.04 21/09/2015 15:45:00 31.844398
15.63 2.07 21/09/2015 15:45:00 32.3541
15.75 2.06 21/09/2015 15:45:00 32.445
15.81 2.07 21/09/2015 15:46:00 32.7267
15.57 2.05 21/09/2015 15:53:00 31.918499
15.56 2.05 21/09/2015 15:53:00 31.898
15.52 2.06 21/09/2015 15:54:00 31.9712
15.51 2.04 21/09/2015 15:54:00 31.6404
15.53 2.05 21/09/2015 15:54:00 31.836498
15.48 2.05 21/09/2015 15:55:00 31.734
15.49 2.06 21/09/2015 15:55:00 31.909399
15.50 2.06 21/09/2015 15:55:00 31.929998
15.53 2.05 21/09/2015 15:56:00 31.836498
15.51 2.05 21/09/2015 15:56:00 31.7955
15.50 2.04 21/09/2015 15:56:00 31.619999
15.50 2.05 21/09/2015 15:57:00 31.775
15.49 2.02 21/09/2015 15:57:00 31.289799
15.49 2.04 21/09/2015 15:57:00 31.5996
15.49 2.04 21/09/2015 16:00:00 31.5996
15.48 2.05 21/09/2015 16:00:00 31.734

15.51 2.05 21/09/2015 16:00:00 31.7955
15.51 2.05 21/09/2015 16:03:00 31.7955
15.47 2.05 21/09/2015 16:05:00 31.7135
15.47 2.06 21/09/2015 16:05:00 31.8682
15.47 2.04 21/09/2015 16:05:00 31.5588
15.44 2.04 21/09/2015 16:06:00 31.497599
15.44 2.04 21/09/2015 16:06:00 31.497599
15.39 2.02 21/09/2015 16:09:00 31.087801
15.38 2.01 21/09/2015 16:09:00 30.9138
15.37 2.02 21/09/2015 16:10:00 31.0474
15.38 2.05 21/09/2015 16:10:00 31.529
15.37 2.02 21/09/2015 16:10:00 31.0474
15.35 2.00 21/09/2015 16:10:00 30.7
15.34 2.04 21/09/2015 16:11:00 31.2936
15.35 2.05 21/09/2015 16:11:00 31.4675
15.32 2.02 21/09/2015 16:11:00 30.9464
15.32 2.01 21/09/2015 16:12:00 30.7932
15.32 2.02 21/09/2015 16:12:00 30.9464
15.32 2.02 21/09/2015 16:12:00 30.9464
15.28 2.01 21/09/2015 16:16:00 30.7128
15.26 2.00 21/09/2015 16:16:00 30.52
15.23 2.02 21/09/2015 16:16:00 30.764599
15.23 2.04 21/09/2015 16:17:00 31.069199
15.23 2.02 21/09/2015 16:17:00 30.764599
15.22 2.01 21/09/2015 16:17:00 30.592201
15.22 2.02 21/09/2015 16:18:00 30.7444
15.22 2.00 21/09/2015 16:18:00 30.44
15.19 2.01 21/09/2015 16:20:00 30.531898
15.18 1.99 21/09/2015 16:21:00 30.2082
15.17 1.97 21/09/2015 16:21:00 29.884901
15.15 1.98 21/09/2015 16:21:00 29.997
15.13 1.99 21/09/2015 16:22:00 30.1087
15.14 2.01 21/09/2015 16:22:00 30.4314
15.12 2.01 21/09/2015 16:22:00 30.3912
15.09 1.99 21/09/2015 16:23:00 30.0291
15.09 1.98 21/09/2015 16:23:00 29.8782
15.07 2.01 21/09/2015 16:25:00 30.290699
15.09 1.98 21/09/2015 16:26:00 29.8782
15.04 2.00 21/09/2015 16:27:00 30.08
14.97 1.99 21/09/2015 16:31:00 29.7903

14.94 1.97 21/09/2015 16:31:00 29.431799
14.92 1.98 21/09/2015 16:32:00 29.541601
14.89 1.95 21/09/2015 16:32:00 29.035501
14.72 1.97 21/09/2015 16:32:00 28.998402
14.67 1.96 21/09/2015 16:33:00 28.7532
14.66 1.96 21/09/2015 16:33:00 28.7336
14.85 1.96 21/09/2015 16:33:00 29.106
14.81 1.96 21/09/2015 16:34:00 29.027601
14.81 1.94 21/09/2015 16:34:00 28.731401
14.81 1.94 21/09/2015 16:34:00 28.731401
14.90 1.94 21/09/2015 16:35:00 28.906
14.74 1.93 21/09/2015 16:36:00 28.448198
14.75 1.96 21/09/2015 16:36:00 28.91
14.76 1.95 21/09/2015 16:37:00 28.782001
14.76 1.95 21/09/2015 16:37:00 28.782001
14.79 1.96 21/09/2015 16:37:00 28.988401
14.79 1.96 21/09/2015 16:38:00 28.988401
14.76 1.93 21/09/2015 16:38:00 28.4868
14.73 1.94 21/09/2015 16:38:00 28.5762
14.73 1.94 21/09/2015 16:39:00 28.5762
14.71 1.95 21/09/2015 16:39:00 28.684502
14.70 1.93 21/09/2015 16:39:00 28.370998
14.67 1.94 21/09/2015 16:40:00 28.4598
14.62 1.91 21/09/2015 16:41:00 27.9242
14.61 1.92 21/09/2015 16:41:00 28.051199
14.59 1.89 21/09/2015 16:42:00 27.5751
14.61 1.94 21/09/2015 16:42:00 28.343401
14.54 1.92 21/09/2015 16:44:00 27.9168
14.25 1.91 21/09/2015 16:45:00 27.217499
14.21 1.89 21/09/2015 16:45:00 26.8569
14.20 1.89 21/09/2015 16:46:00 26.838
14.20 1.88 21/09/2015 16:46:00 26.696
14.17 1.90 21/09/2015 16:46:00 26.923
14.17 1.90 21/09/2015 16:47:00 26.923
14.10 1.89 21/09/2015 16:49:00 26.649
14.06 1.88 21/09/2015 16:50:00 26.4328
14.04 1.89 21/09/2015 16:50:00 26.5356
14.02 1.90 21/09/2015 16:50:00 26.638
13.99 1.88 21/09/2015 16:51:00 26.301199
14.00 1.88 21/09/2015 16:51:00 26.32

13.98 1.87 21/09/2015 16:54:00 26.1426
13.95 1.86 21/09/2015 16:55:00 25.947
13.95 1.84 21/09/2015 16:55:00 25.668
13.93 1.86 21/09/2015 16:55:00 25.909801
13.88 1.85 21/09/2015 16:56:00 25.678001
13.84 1.87 21/09/2015 16:56:00 25.8808
13.86 1.85 21/09/2015 16:56:00 25.640999
13.88 1.83 21/09/2015 16:57:00 25.4004
13.84 1.84 21/09/2015 16:57:00 25.465601
13.82 1.84 21/09/2015 16:57:00 25.4288
13.83 1.84 21/09/2015 16:58:00 25.4472
13.88 1.83 21/09/2015 16:58:00 25.4004

Anexo 2 – Decreto de lei relativo ao Autoconsumo

5298

Diário da República, 1.ª série—N.º 202—20 de outubro de 2014

MINISTÉRIO DO AMBIENTE, ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA

Decreto-Lei n.º 153/2014

de 20 de outubro

A atividade de produção descentralizada de energia elétrica é atualmente regulada pelo Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, a partir de recursos renováveis, através de unidades de miniprodução, e pelo Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de novembro, alterado pela Lei n.º 67-A/2007, de 31 de dezembro e pelos Decretos-Leis n.ºs 118-A/2010, de 25 de outubro, e 25/2013, de 19 de fevereiro, que estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade por intermédio de unidades de microprodução.

Estes regimes, embora pressupondo que a atividade de produção deve estar associada a uma instalação de utilização de energia elétrica com consumo efetivo e a um contrato de fornecimento de eletricidade celebrado com um comercializador, permitem a entrega total da energia produzida nas respetivas unidades à rede elétrica de serviço público (RESP), a qual é remunerada através do regime geral ou do regime bonificado.

Com efeito, o Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 25/2013, de 19 de fevereiro, afastou-se do paradigma do Decreto-Lei n.º 68/2002, de 25 de março, procedendo à sua revogação, o qual regulava a atividade de produção de energia elétrica em baixa tensão destinada predominantemente a consumo próprio, sem prejuízo da possibilidade de entrega da produção excedente a terceiros ou à rede pública.

Procuravam-se, então, novas soluções de produção de energia descentralizada e de inovação tecnológica, acomodando-se a figura de produtor-consumidor de energia elétrica em baixa tensão (ou do produtor em autoconsumo) no âmbito do Sistema Elétrico Independente, e permitindo-se ainda a existência de ligação à rede pública de distribuição de energia elétrica, na tripla perspetiva de autoconsumo, de fornecimento a terceiros e de entrega de excedentes à rede.

O regime da produção em autoconsumo não teve, no entanto, a aceitação esperada, verificando-se, aquando da publicação do referido Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, que eram poucas as unidades com estas características que se encontravam registadas. A imaturidade da tecnologia desincentivava a realização de investimentos avultados que tivessem como única contrapartida o custo evitado com a aquisição da energia elétrica à rede. Assim, a aposta neste tipo de tecnologia apoiou-se antes na atribuição de uma remuneração bonificada da totalidade da energia produzida, que permitisse aos promotores a recuperação dos montantes investidos.

A produção descentralizada através de unidades de miniprodução e de microprodução têm demonstrado, no entanto, que a evolução tecnológica permite hoje em dia desenvolver projetos com recurso a menor investimento, o que, naturalmente, tem justificado a adequação da respetiva remuneração da energia proveniente destas unidades de produção.

Por sua vez, reconhece o Governo o potencial da atividade de produção em autoconsumo, como forma de promover um maior conhecimento, especialmente pelos

consumidores em baixa tensão, do respetivo perfil de consumo, induzindo comportamentos de eficiência energética e contribuindo ainda para a otimização dos recursos endógenos e para a criação de benefícios técnicos para a RESP, nomeadamente através da redução de perdas na mesma.

Por outro lado, a implementação de uma política energética mais equilibrada e direcionada para a resolução dos problemas atuais das empresas, das famílias e do País, assume-se como objetivo do Programa do XIX Governo Constitucional, procurando-se, para tal, garantir fontes de energia final a preços relativamente competitivos, e um modelo energético de racionalidade económica com incentivos transparentes e adequados aos agentes de mercado, bem como reforçar a diversificação das fontes primárias de energia e apoiar o desenvolvimento das empresas do setor energético, com ênfase na fileira das energias renováveis.

Neste contexto, e concretizando o disposto no Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis, aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de abril, são reformulados e integrados, no presente decreto-lei, os atuais regimes de miniprodução e microprodução, revogando-se o Decreto-Lei n.º 34/2011, de 8 de março, alterado pelos Decretos-Leis n.ºs 25/2013, de 19 de fevereiro, e 363/2007, de 2 de novembro, alterado pela Lei n.º 67-A/2007, de 31 de dezembro, e pelos Decretos-Leis n.ºs 118-A/2010, de 25 de outubro, e 25/2013, de 19 de fevereiro.

A pequena produção, mantendo os traços gerais estabelecidos pelos diplomas acima identificados, passa, assim, a beneficiar de um enquadramento legal único.

O presente decreto-lei estabelece ainda o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao consumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à RESP, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis.

As atividades de produção distribuída — de pequena produção e em autoconsumo — regem-se por disposições comuns no que respeita ao controlo prévio das mesmas e aos direitos e deveres dos promotores, e por normas específicas que acolhem as vicissitudes inerentes a cada uma das modalidades.

O regime da pequena produção permite ao produtor vender a totalidade da energia elétrica à RESP com tarifa atribuída com base num modelo de licitação, no âmbito do qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência, eliminando-se o regime remuneratório geral previsto nos anteriores regimes jurídicos de miniprodução e de microprodução. Quando não enquadrada no regime remuneratório aplicável à pequena produção, a unidade de produção deverá ser objeto de controlo prévio e atribuição de remuneração nos termos do regime jurídico da produção de eletricidade em regime especial.

Por seu turno, a energia elétrica produzida em autoconsumo destina-se predominantemente a consumo na instalação associada à unidade de produção, com possibilidade de ligação à RESP para venda, a preço de mercado, da eletricidade não autoconsumida. Note-se que, nesta modalidade de produção, o produtor beneficia quando a unidade de produção é dimensionada tendo em conta as efetivas necessidades de consumo da instalação.

Prevê-se, finalmente, a medição da energia elétrica produzida em unidades de produção de autoconsumo, com ou sem ligação à RESP, que se revela fundamental para efeitos de monitorização do cumprimento dos objetivos

Anexo 3 – Principais rotinas do Cliente

```
void loop()
{  int available;
   boolean opened;
   if (wifly.isConnected() == false) {
       Serial.println("Connecting");
       opened=wifly.open("192.168.1.79",3456);
       delay(2000);
       if (opened) {
           Serial.println("Connected");
       }else {
           Serial.println("Failed to open");
           delay(5000);
       }
   }else {
       available = wifly.available();
       if (available < 0) {
           Serial.println("Disconnected");
       }
       if(ctr==0){
           String toSend=prepareDataToSend();
           const char* msg= toSend.c_str();
           wifly.write(msg);
           ctr=1;
       }
       if(available>0){
           i=wifly.read()-48; //ASCII VALUE
           ctr=0;
           if (i==1){
               digitalWrite(ledPin, HIGH);
           }
           else{
               digitalWrite(ledPin,LOW);
           }
           wifly.close();
           delay(6000);
       }
   }
}
```

```

String prepareDataToSend(){
    connectTime = millis();
    String toSend;
    float voltage=0;
    float current=0;
    float avgVolt=0;
    float avgCurrent=0;
    int cnt=0;
    float sum=0;
    while ((millis() - connectTime) < 10000) {
        cnt++;
        int sensorValue0 = analogRead(A0);
        int sensorValue = analogRead(A1);
        voltage = voltage + ((sensorValue * (4.88 / 1023.0)) * (3.54/1.08)); // voltage divider
        current= sensorValue0* (4.88/1023);
        current=((current-2.45)/0.066);
        sum = sum + current;
        Serial.println(current);
        delay(500); //20 medicoes
    }
    avgVolt=voltage/cnt;
    avgCurrent=(sum/cnt);
    toSend=String(String(avgVolt) + " " + String(avgCurrent) + "\r");
    Serial.println(toSend);
    return toSend;
}

```

Anexo 4 – Principais rotinas do Servidor

Neste anexo apresenta-se as principais rotinas do sistema desenvolvido do lado do servidor, em que se destaca a função run() na figura abaixo.

```
@Override
public void run() {
    while (true) {
        String received = "";
        String toSend = "0";
        try {
            System.out.println("Waiting for client on port " + myServer.getLocalPort() + "...");
            Socket session = myServer.accept();
            System.out.println("Just connected to " + session.getRemoteSocketAddress());
            PrintWriter out = new PrintWriter(session.getOutputStream(), true);
            BufferedReader in= new BufferedReader (new InputStreamReader(session.getInputStream()));
            received= in.readLine();

        }

        }

        System.out.println("Content Received: " + received);
        System.out.println(toSend);
        out.printf(toSend);
        out.flush();

    } catch (IOException ex) {
        Logger.getLogger(Server.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
    }
}
}
```

```
public String[] getPower(String[] split){
    int i=0;
    int str_length=0;
    String pwr_read="";
    float pwr=0;
    String[] split_pwr;

    str_length=split.length;
    for(i=0 ; i<str_length ; i=i+4){
        pwr=Float.parseFloat(split[i])*Float.parseFloat(split[i+1]);
        pwr_read+=pwr+" ";
    }
    split_pwr=pwr_read.split(" ",0);

    return split_pwr;
}
```

```

public String calcAveragePwr(String[] split, int length){
    int i;
    int j;
    int k=0;
    int cnt=1;
    Float[] pwr = new Float[2*length/5];
    Arrays.fill(pwr, Float.valueOf(0));
    String[] split_AvgPwr;
    int length_split_AvgPwr;

    String AvgPwr="";
    for(i=0; i<length && i+2<length;i=i+5){
        for (j=0; j<length && j+2<length;j=j+5){
            if((split[i+2].regionMatches(2, split[j+2], 2, 8) && split[i+3].regionMatches(0, split[j+3],
0, 2))){
                if(i+2!=j+2){
                    cnt++;
                }
                pwr[k]=(pwr[k]+(Float.parseFloat(split[j+4])));
            }
        }
        pwr[k]=pwr[k]/cnt;
        k++;
        pwr[k]=Float.parseFloat(split[i+3].substring(0, 2));
        AvgPwr+=pwr[k-1]+" "+pwr[k]+" ";
        cnt=1;
        k++;
    }

    Float[] AvgPower=removeDuplicates(pwr);
    String AvgPwrToSend="";
    for (int n=0; n<AvgPower.length;n++){
        AvgPwrToSend+=AvgPower[n]+" ";
    }
    return AvgPwrToSend;
}

```